INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXIV, n° 2. 1956

BULLETIN

DE

L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX

IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
27 AUG 1956

Sommaire

BOUDRU, M. — Quelques exemples de futaie jardinée de chêne . . . 109

BRENY, R. — L'embryon de *Neodiprion sertifer, GEOFFR. en période* hivernale 121

GERLACHE, L. — Contribution à l'étude du massif siluro-cambrien du Brabant dans la vallée de l'Orneau 131

MANIL, P., CULOT, J.P. et BROUWERS, L. — Contribution à l'analyse du sol par voie microbiologique 142
(DAGNELIE, P. — Etude statistique des résultats) 196

NOIRFALISE, A. — La hêtraie ardennaise 208

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent numéro : 80 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au **Secrétariat du *Bulletin*.**

a) Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.

b) Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Livres reçus ».

Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite sans autorisation du Comité de Rédaction.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXIV, n° 2. 1956

BULLETIN

DE

L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX

IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
B R U X E L L E S

CHAIRE D'ECONOMIE FORESTIERE

Quelques exemples de futaie jardinée de chêne

par

M. BOUDRU

Dans les forêts de chênes des plateaux de la Pensylvanie, MEYER a repéré et inventorié des peuplements équilibrés répondant à la formule exponentielle de distribution $y = k.e^{-ax}$.

L'auteur a particulièrement considéré cinq de ces peuplements dont il donne, reprises dans le Tableau I ci-dessous, les valeurs des constantes a, k et b, qui sont liées entre elles par une corrélation étroite (5) (3).

TABLEAU I

Valeur des constantes des peuplements équilibrés de Meyer

Type structural	a	k	b = limite supérieure des diamètres de la distribution ou « terme d'exploitabilité » : en pouces	b = limite supérieure des diamètres de la distribution ou « terme d'exploitabilité » : en cm
V	0,150	37,5	28	70,0
IV	0,200	65,3	27	67,5
III	0,250	113,5	27	67,5
II	0,300	197,5	27	67,5
I	0,350	343,5	26	65,0

Connaissant les valeurs numériques de a, k et b des cinq peuplements en équilibre, la distribution en nombre de tiges par catégories de diamètre se fait, comme suit, après retranscription en valeurs décimales (Tableau II). A titre de comparaison, nous allons introduire dans

les tableaux, les indications extraites de publications belges relatives à la futaie jardinée de chêne (1) (2).

Le Tableau III donnera la distribution des tiges par classes de grosseur, le Tableau IV celle de la surface terrière. Les tarifs de cubage locaux en m^3 figurent dans le Tableau V et nous permettent de reproduire, dans le Tableau VI, les chiffres relatifs au volume et à la distribution de celui-ci entre les classes de grosseur.

Tels sont les documents que le lecteur pourra éventuellement consulter.

***

Dans nos pays de forêts cultivées, la futaie jardinée de chêne « ne semble pas encore dégagée des limbes de la théorie » (1). Celle-ci a pu donner une idée approximative de la structure, de la composition, du matériel normal et de la production dans l'un ou l'autre cas particulier (1) (2). Il nous manque toujours, en Europe occidentale, la vérification basée sur des inventaires de types jardinés existant réellement.

Par contre, des peuplements mélangés inéquiennes à base de chênes, d'allure jardinée par groupes, existeraient encore en Pensylvanie, à l'état de forêt vierge ou presque. *Certes les espèces et le milieu ne sont pas les nôtres, une assimilation complète n'est pas à préconiser mais d'utiles comparaisons et déductions peuvent être faites.*

On peut notamment retenir des études de MEYER et des analyses d'autres botanistes forestiers américains que la structure jardinée peut exister dans les chênaies mixtes naturelles, que la répartition des tiges entre les diverses catégories de grosseur se fait, comme dans la sapinière et la hêtraie jardinées, suivant une progression géométrique décroissante de raison constante, que les peuplements équilibrés peuvent être très variables dans leur composition et leur matériel. L'intérêt pour le lecteur européen réside en la possession de certains repères issus des inventaires de peuplements américains réellement existants. Ces repères seraient, entre autres, l'ordre de grandeur des coefficients de Liocourt, l'importance de la surface terrière totale, l'ampleur du matériel et sa répartition en classes de grosseur.

Deux études théoriques sur la futaie jardinée de chêne ont été publiées en Belgique. Le lecteur est en droit de se demander si elles se raccordent bien aux données de MEYER ou si elles tombent à faux. La lecture des tableaux annexés semble indiquer que les auteurs de ces notes ont été heureux dans leurs déductions.

Pour ce qui est des divers coefficients de Liocourt extraits de la publication de MEYER, nous n'avons aucune base pour les admettre ou les rejeter, encore que les chiffres extrêmes puissent nous paraître anormaux. Les deux études théoriques citées plus haut sont, de leur côté, restées prudemment autour de la valeur 1,5 (moyenne classique du

coefficient de Liocourt pour la division en catégories de 5 en 5 cm de diamètre).

En ce qui concerne la surface terrière totale des peuplements équilibrés, les indications de MEYER, quoique se rapportant à des chênaies *non éclaircies*, paraissent très intéressantes. Il serait sans doute opportun et utile de tenter un raccord entre ces divers niveaux de la surface terrière et les classes de production. C'est à quoi nous allons nous employer.

*
**

Les forêts de chênes des plateaux de la Pensylvanie ne sont pas des plus productives en général, mais les conditions de milieu très variables permettent de distinguer facilement des classes de production différentes. La base géologique est une roche gréseuse brune, assez riche, donnant naissance à un sol plutôt résistant au lessivage. Cette assise (Juniata formation) affleure en plusieurs endroits et porterait les meilleurs peuplements. Les colluvions des pentes sont issus du mélange des dépôts de deux formations gréseuses (Juniata et Oswego), la dernière formant des sols sableux, stériles et pierreux. La valeur des colluvions dépend de la proportion des matériaux provenant de l'une ou l'autre assise. Par places enfin, le sol est un sable jaune, rocheux, podzolisé et recouvert d'une couche de matières organiques faiblement décomposées. D'une manière générale, le sol de ces chênaies est un limon sableux, de richesse variable, plus ou moins évolué, passant de la terre brune lessivée au sol brun podzolique, voire localement au podzol.

Les peuplements sont des forêts feuillues tantôt pures, le plus souvent mélangées à une certaine proportion de pins — *Pinus strobus* et *P. rigida* —. Parmi les feuillus, les chênes représentent 75 à 80 % de l'ensemble ; le plus abondant est *Quercus montana* qui forme parfois à lui seul la moitié du peuplement et qui est accompagné par divers autres chênes dont *Q. velutina*, *Q. borealis* et *Q. alba* (4).

Dans ces forêts de chênes, les tables de SPURR distinguent, en peuplements réguliers, cinq classes d'après les Indices de Station, qui sont de 40, 50, 60, 70 et 80 pieds, ce qui représente 12, 15, 18, 21 et 24 m de hauteur totale moyenne des dominants et codominants à 100 ans ! MEYER signalant de son côté que l'Indice de Station de la plupart des peuplements qu'il a étudiés se situe entre 60 et 70 pieds, nous retiendrons, à titre de référence, ses trois classes supérieures dont les caractéristiques à l'hectare figurent dans le tableau ci-dessous.

Pour permettre une certaine comparaison, nous joignons les indications extraites de Tables allemandes et relatives à des chênaies pures de III° et IV° Bonität.

Le raccord entre les chênaies américaines et européennes ne semble pas parfait. A hauteur totale moyenne égale, la forêt américaine paraît de production plus faible. Outre les différences d'espèces et de milieu,

Caractéristiques à 100 ans	Indice 60 18 m	Indice 70 21 m	Indice 80 24 m	III° Bonität (6)	IV° Bonität (7)
N. de tiges	470	450	417	380	507
Diamètre moyen	± 20 cm	± 22 cm	± 23,6 cm	25,1 cm	21,0 cm
Surface terrière	15,3 m^2	17,0 m^2	17,9 m^2	18,8 m^2	14,5 m^2
Volume du peuplement principal	116 m^3	130,8 m^3	144 m^3	193 m^3	145 m^3
Haut. tot. moyenne des dominants et codominants	18 m	21 m	24 m	21 m (*)	17 m (*)

(*) Respectivement 18,8 m et 14,9 m pour la hauteur moyenne de LOREY + 2 m environ pour passer à la hauteur totale moyenne des dominants et codominants.

signalons encore, d'après MEYER, l'*absence* totale de soins culturaux et notamment *des éclaircies.*

Parmi les cinq types jardinés étudiés par MEYER, les trois derniers appartiennent manifestement à une station d'Indice 60, les deux premiers se raccorderaient plutôt à une classe supérieure, d'Indice 70 et plus.

*
**

Quelle pourrait être la signification, pour nos peuplements de chêne, des surfaces terrières totales extraites du travail de MEYER, ces renseignements nous paraissant à retenir, vu l'absence, dans la littérature européenne, de documentation sérieusement établie ? A quelles classes de productivité se rapporteraient-elles ?

Reprenons le même raisonnement que nous avons suivi dans une étude précédente (1 p. 156) : Nous admettons que la futaie de chêne jardinée par groupes est une mosaïque de bouquets équiennes, d'âges différents, confusément mélangés. Nous supposons une chênaie de chêne rouvre traitée à la rotation de 10 ans et dont les vagues successives de régénération sont également espacées de 10 ans. L'âge d'exploitation est fixé à 180 ans. Au début d'une rotation, nous nous trouvons ainsi en présence de bouquets dont les âges différant de 10 ans s'échelonnent de 0 à 170 ans. Il y aurait 18 catégories d'âge. A la fin de la rotation, les âges varieraient de 10 à 180 ans. Supposons une chênaie de 18 ha répartie en bouquets de surface variable mais dont chaque catégorie d'âge occupe 1 ha. Notre forêt, ramenée à une futaie régulière comprenant 18 peuplements équiennes d'âges différents s'échelonnant de 10 en 10 ans, à partir de 0 an jusqu'à 170 ans, nous aurons donc, au début de la rotation, 1 ha de 170 ans, 1 ha de 160 ans, etc..., 1 ha de 10 ans et 1 ha de semis. A la fin de la rotation, la répartition sera celle-ci : 1 ha de 180 ans, 1 ha de 170 ans, 1 ha de 160 ans, etc... et 1 ha

de 10 ans. Nous prendrons la moyenne des deux séries pour fixer la situation à mi-rotation correspondant à la courbe d'équilibre.

Si nous nous référons à la théorie des Déciles et à la répartition des grosseurs relatives d'après JEDLINSKI, nous pouvons admettre, qu'à l'âge de 50 ans, le peuplement de chêne de la III° Bonität de SCHWAPPACH comprend déjà des tiges entrant dans la catégorie des 15 cm de diamètre (1). Pour déterminer l'importance de la surface terrière au début de la rotation, nous allons additionner les S.T. respectives des peuplements principaux de 50 à 170 ans. A la fin de la rotation de 10 ans, la S.T. totale comprendra les S.T. des peuplements principaux de 50 à 180 ans, auxquelles nous ajouterons les accroissements intercalaires. Les résultats seraient ceux-ci :

Surface terrière totale au début de la rotation :

241 m^2

Surface terrière totale à la fin de la rotation :

306,5 m^2

547,5 m^2 : 2 = 273,8 m^2

Le peuplement équilibré, à mi-rotation, aurait donc une surface terrière totale de 273,8 m^2.

Remarquons immédiatement que les peuplements de 70, 60 et 50 ans comprennent un nombre de plus en plus important de tiges n'entrant pas dans la catégorie des 15 cm de diamètre. Le contrôle que nous avons pu faire, en nous servant des chiffres relatifs à la composition de la futaie aux divers âges (1 p. 160) nous permet d'indiquer que la S.T. des bois n'atteignant pas 15 cm de diamètre intervient pour les 2/5 environ dans la S.T. totale de ces peuplements de 70, 60 et 50 ans. Au début de la rotation, cette S.T. totale était de 52,5 m^2 ; à la fin de la rotation, accroissements intercalaires compris, elle est de 68,9 m^2 ; la moyenne serait donc 60,7 m^2. Les 2/5 de ce chiffre représentent 24,3 m^2 que nous retranchons de 273,8 m^2, soit 249,5 m^2. Comme nous avons 18 peuplements de 1 ha, nous aurons finalement comme surface terrière, à l'hectare du peuplement équilibré, 249,5 : 18 = *13,8 m^2* (*).

En II° Bonität de SCHWAPPACH, le premier peuplement comprenant des tiges de 15 cm de D., est âgé de 40 ans, et de 30 ans, en I° Bonität. Les calculs faits en suivant le même raisonnement nous donnent comme surface terrière totale, perches comprises :

18,5 m^2 pour la I° Bonität ;
16,1 m^2 pour la II° Bonität.

(*) Ce chiffre est un peu inférieur à ce que nous avions trouvé (14,6 m^2) pour un peuplement de III° Bonität de SCHWAPPACH. Le mode de calcul était un peu différent et une rectification graphique avantageuse était intervenue.

Par extrapolation, nous obtenons, pour la IV° Bonität, une S.T. de 11,5 m^2.

Nous admettrons donc, comme surface terrière totale — perches comprises — de peuplements purs de chêne, jardinés par groupes, les chiffres suivants :

18,5 m^2 en 1re classe ;
16,1 m^2 en 2me classe ;
13,8 m^2 en 3me classe ;
11,5 m^2 en 4me classe.

Nous avons admis précédemment (1) que, biologiquement et culturalement, le chêne ne pouvait être éduqué à l'état pur. Dans le type théorique que nous avions présenté, la part du chêne était de 85,3 % en surface terrière et 83,7 % en nombre. En fait, les forêts de Pensylvanie étudiées par MEYER sont mixtes. Les chênes y représentent, en nombre et en surface terrière, de 75 à 85 % du total.

Aux chiffres de surface terrière que nous venons de citer, nous ajouterons environ le ¼ de leur valeur, pour les feuillus et résineux de complément. Nous obtenons finalement les chiffres suivants de S.T. totale — perches comprises — :

23 m^2 en 1er classe (21,5 à 24,4 m^2) ;
20 m^2 en 2me classe (18,5 à 21,4 m^2) ;
17 m^2 en 3me classe (15,5 à 18,4 m^2) ;
14 m^2 en 4me classe (12,5 à 15,4 m^2).

Le type V de MEYER représenterait donc un peuplement de 2me classe, le type IV, un peuplement de 3me classe, tandis que les types III, II et I seraient à raccorder à une 4me classe.

CONCLUSIONS

Dans la forêt jardinée par groupes, où les chênes sont représentés, en nombre et surface terrière, à concurrence de 75 à 85 %, la surface terrière totale, perches comprises, serait respectivement de 23 m^2 en 1re classe, de 20 m^2 en 2me classe, de 17 m^2 en 3me classe et de 14 m^2 en 4me classe.

Les types de peuplements équilibrés de MEYER seraient utilement consultés en ce qui concerne la distribution des tiges et des surfaces terrières, sans oublier toutefois que cette distribution peut varier assez fortement, dans le cadre d'une surface terrière totale identique et que les dits peuplements n'ont jamais reçu de soins culturaux.

Quant à l'appréciation du matériel, il faut se souvenir que, à classe égale, la chênaie américaine peut être moins productive.

Janvier 1956

BIBLIOGRAPHIE

(1) BOUDRU, M. — Considérations sur la futaie jardinée de Chêne.
Bull. Institut agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux. T. XX, n^{os} 3-4, 1952.

(2) GALOUX, A. — Contribution à l'étude de la futaie de Chêne jardinée par bouquets.
Station de Recherches de Groenendael. Travaux. Série B, n° 14, 1953.

(3) LENGER, A. — A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers.
Bull. Institut agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux. T. XXII, n^{os} 3-5, 1954 et T. XXIII, n° 3, 1955.

(4) MEYER, H. A. — Structure and growth of a virgin upland oak forest in Southern Pennsylvania.
The Pennsylvania State Forest School. Research Paper n° 4, 1948.

(5) MEYER, H. A. and KELLER, W. C. — The normal growing stock of upland oak forests in Central Pennsylvania.
The Pennsylvania State Forest School. Research Paper n° 14, 1953.

(6) SCHWAPPACH, Dr. — Ertragstafeln der wichtigeren Holzarten. Dritte Auflage. Verlag von J. Neumann in Neudam, 1929.

(7) ———— — Eichenertragstafel für starke Durchforstung, aufgestellt nach Schwappach-Wiedemann 1920/46. Allgemeine Forstzeitschrift. Dezember 1955. z. 576. München.

TABLEAU II

Distribution des tiges par catégories de grosseur

Type structural	Coefficient de Liocourt	CATEGORIE DE DIAMETRE EN CM :													
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
MEYER															
V	1,35	76,5	56,3	42,0	31,0	23,0	17,0	12,8	9,5	7,0	5,3	3,8	—	—	—
IV	1,50	98,7	66,3	44,5	29,8	20,0	13,5	9,0	6,0	4,0	2,7	1,8	—	—	—
III	1,65	128,3	77,8	47,0	28,5	17,3	10,5	6,3	4,0	2,3	1,5	0,8	—	—	—
II	1,80	165,8	91,0	49,8	27,5	15,0	8,3	4,5	2,5	1,3	0,8	0,5	—	—	—
I	2,00	214,0	107,0	53,0	26,3	13,3	6,5	3,3	1,7	0,7	0,3	—	—	—	—
BOUDRU															
Chêne pur	1,55	102,0	66,0	43,0	27,5	17,3	11,2	7,1	4,6	2,8	1,8	1,1	0,2	—	—
Peuplem. mélangé	±1,60	142,0	81,0	50,5	32,5	20,6	13,4	8,6	5,6	2,8	1,8	1,1	0,2	—	—
GALOUX															
Chêne pur	1,40	79,0	56,0	40,0	29,0	21,0	15,0	10,0	7,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	—

TABLEAU III

Distribution des tiges par classes de grosseur

Type structural	Nombre total de tiges futaie + perches	Perches	Nombre de tiges de la futaie	Petits bois 20-30 cm de D.		Moyens bois 35-50 cm de D.		Gros bois 55 cm et plus de D.	
				Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
MEYER									
Peuplements mélangés									
V	284,2	76,5	207,7	129,3	62,3	62,3	30,0	16,1	7,7
IV	296,3	98,7	197,6	140,2	71,2	48,5	24,5	8,5	4,3
III	324,3	128,3	196,0	153,3	78,2	38,1	19,5	4,6	2,3
II	367,0	165,8	201,2	168,3	83,7	30,3	15,0	2,6	1,3
I	425,4	214,0	211,4	186,3	88,1	24,8	11,8	0,3	0,1
BOUDRU									
Chêne pur	284,6	102,0	182,6	136,5	74,8	40,2	22,0	5,9	3,2
Peuplem. mélangé	360,1	142,0	218,1	164,0	75,2	48,2	22,1	5,9	2,7
GALOUX									
Chêne pur	272,0	79,0	193,0	123,0	63,7	53,0	27,5	17,0	8,8

BOUDRU — Peuplement mélangé : % de chêne dans le peuplement total = 83,7
% de chêne dans les petits bois = 83,2
% de chêne dans les moyens bois = 83,4
% de chêne dans les gros bois = 100.

TABLEAU IV

Distribution de la surface terrière, par classes de grosseur. — Surface terrière en % de la surface terrière totale de la futaie, par hectare

Type structural	Surface terrière totale des tiges futaie + perches	Surface terrière des perches	Surface terrière de la futaie	Petits bois 20-30 cm de D.		Moyens bois 35-50 cm de D.		Gros bois 55 cm et plus de D.	
	m²	m²	m²	m²	%	m²	%	m²	%
MEYER									
Peuplements mélangés									
V	20.00	1.35	18.65	6.02	32.3	8.24	44.1	4.39	23.6
IV	16.65	1.75	14.90	6.37	42.7	6.22	41.7	2.31	15.6
III	15.00	2.27	12.73	6.76	53.1	4.76	37.4	1.21	9.5
II	14.54	2.93	11.61	7.26	62.5	3.68	31.7	0.67	5.8
I	14.80	3.79	11.01	7.81	71.0	2.95	26.8	0.25	2.2
BOUDRU									
Chêne pur	14.65	1.80	12.85	6.13	47.7	5.10	39.7	1.62	12.6
Peuplem. mélangé	17.58	2.51	15.07	7.32	48.5	6.13	40.7	1.62	10.8
GALOUX									
Chêne pur	18.61	1.42	17.19	5.76	33.5	6.87	40.0	4.56	26.5

BOUDRU — Peuplement mélangé : % de chêne dans le peuplement total = 85,3
% de chêne dans les petits bois = 83,7
% de chêne dans les moyens bois = 83,2
% de chêne dans les gros bois = 100.

TABLEAU V

Tarif de cubage local, en M³

Type structural	CATEGORIE DE DIAMETRE EN CM :													
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
MEYER	0.119	0.229	0.382	0.580	0.826	1.124	1.472	1.876	2.337	2.855	3.432	—	—	—
BOUDRU	0.153	0.304	0.408	0.685	0.919	1.194	1.512	1.867	2.100	2.500	2.900	3.400	4.500	—
GALOUX	0.132	0.229	0.390	0.618	0.858	1.143	1.453	1.885	2.309	2.727	3.268	3.744	4.292	—

TABLEAU VI

Distribution du volume par classes de grosseur. — Volume en % du volume total de la futaie, par ha

Type structural	Volume total futaie + perche	Volume des perches	Volume de la futaie	Petits bois 20-30 cm de D.		Moyens bois 35-50 cm de D.		Gros bois 55 cm et plus de D.	
	m³	m³	m³	m³	%	m³	%	m³	%
MEYER									
Peuplements mélangés									
V	172.7	9.1	163.6	46.2	28.3	74.3	45.4	43.1	26.3
IV	138.5	11.7	126.8	47.8	37.7	55.5	43.8	23.5	18.5
III	120 3	15.3	105.0	50.9	48.5	42.1	40.1	12.0	11.4
II	113.3	19.7	93.6	53.9	57.6	32.9	35.1	6.8	7.3
I	112.6	25.5	87.1	59.0	67.8	25.9	29.7	2.2	2.5
BOUDRU									
Chêne pur	137.0	15.5	121.5	58.7	48.3	48.6	40.0	14.2	11.7
Peuplem. mélangé	164.3	21.6	142.7	70.1	49.1	58.4	40.9	14.2	10.0
GALOUX									
Chêne pur	163.7	10.4	153.3	46.3	30.2	62.9	41.0	44.1	28.8

BOUDRU — Peuplement mélangé : % de chêne dans le peuplement total = 85,1
% de chêne dans les petits bois = 83,7
% de chêne dans les moyens bois = 83,2
% de chêne dans les gros bois = 100.

L'embryon de *Neodiprion sertifer* GEOFFR. en période hivernale (*) (**)

par

R. BRENY

(Laboratoires de Zoologie de l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux et de l'Université Libre de Bruxelles)

En 1952, en un travail descriptif intitulé : « In what embryonnic stage do the eggs of *Neodiprion sertifer* GEOFF. enter the winter diapause ? », BRYGIDER (2) présentait la structure embryonnaire de *N. banksiana* ROT., *N. nanulus* SCHEDL. et *N. sertifer* GEOFF., caractéristique de la phase d'arrêt de croissance de la bandelette germinative en période hivernale ; les œufs de *N. sertifer* GEOFF. avaient été prélevés pour examen le 21 décembre.

Notre programme personnel d'étude prévoit la recherche des causes de l'arrêt du développement hivernal de l'œuf de *N. sertifer* GEOFF. et par là, la justification même du phénomène. Cependant, dans les pages qui vont suivre, nous ne traiterons pas du résultat final de nos recherches qui d'ailleurs sont encore en cours ; nous nous limiterons actuellement à envisager le problème dans la première phase de sa solution, c'est-à-dire l'établissement avec toute la certitude voulue de l'existence réelle et aussi de la durée, chez nous, dans la nature, de la période d'inactivité hivernale embryonnaire.

L'étude classique de la croissance de l'embryon devrait en principe reposer sur la détermination de l'intensité respiratoire de l'œuf. On sait que la courbe des échanges pour des œufs en diapause est nettement caractéristique ; le métabolisme est actif pendant le développement initial, jusqu'au stade de la rotation ; puis comme la diapause débute généralement à ce stade, la courbe respiratoire s'effondre pour ne remonter qu'après l'hiver, à la reprise du développement.

(*) J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur le Professeur R.MAYNE qui m'a inspiré ce travail et à Monsieur le Professeur P. BRIEN qui a très aimablement accepté que nous venions le consulter. Je les remercie l'un et l'autre pour leurs précieux conseils et leurs encouragements.

(**) Déposé à la rédaction en décembre 1955.

Si la mesure des échanges gazeux offre un très grand intérêt par la grande précision des résultats auxquels elle conduit, la technique réclame malheureusement un appareillage coûteux et des manipulations délicates, surtout si elle s'adresse aux œufs de *N. sertifer* Geoff. En effet, ceux-ci sont, dès la ponte, enchâssés par la femelle dans le parenchyme des aiguilles de pin et leur extraction, quoique réalisable, est une opération très délicate ; il faut en réalité et nécessairement pour de tels essais, aboutir à un matériel sain c'est-à-dire indemne de blessures; or, la détermination de l'intensité respiratoire ne peut être envisagée qu'en partant d'œufs parfaitement vivants ; un œuf très légèrement blessé peut être porteur de minuscules lésions, mêmes internes, non décelables au microscope ; la présence d'un seul œuf blessé au sein d'un lot de plusieurs autres parfaitement intacts constitue une cause perturbatrice des résultats et par là même l'échec total de l'essai. C'est pourquoi, nous avons recherché, pour caractériser les progrès de l'évolution embryonnaire, une méthode simple, basée sur des mensurations de taille de l'embryon ; ces mensurations se faisant périodiquement, par exemple chaque semaine, sur des lots d'une vingtaine d'œufs, préparés suivant la technique décrite ci-dessous.

1. MISE EN EVIDENCE DE L'EMBRYON

Des aiguilles de pins parasitées, fraîchement récoltées sont débitées en fragments contenant de 3 à 4 œufs chacun ; ces fragments sont immergés dans un liquide fixateur : celui de Koch, utilisé d'ailleurs par Gasow (4) dans ses recherches sur le développement des œufs de *Tortrix viridana* L. La composition de ce milieu est la suivante :

Eau distillée	40 cc
Acide acétique cristallisable	1 cc
Formol 40 %	10 cc (*)
Alcool 96°	20 cc

Les objets sont fixés à l'étuve 50 °C, dans des récipients que l'on recouvre d'une plaque de verre pour éviter l'évaporation excessive ; dans de telles conditions, l'immersion des fragments foliaires est rapide. Le lendemain, les œufs restant toujours inclus dans les feuilles, on perce leur chorion (deux piqûres sur la face dorsale) à l'aide d'une aiguille très fine pour faciliter la pénétration du fixateur et ce n'est que 24 heures plus tard, c'est-à-dire lorsque la coque est suffisamment indurée, que l'on extrait les œufs des tissus végétaux. Pour celà, on utilise deux aiguilles montées ; l'une maintient la feuille de pin en place sur le fond du godet et l'autre dégage l'œuf. Le dégagement se fait en soulevant progressivement puis arrachant, à l'aide de fines brucelles, des lanières d'épiderme

(*) Nous avons porté à 10 cc la quantité de formol 40 % de façon à aboutir plus rapidement à l'induration des tissus foliaires et du chorion, ce qui facilite grandement l'extraction de l'œuf. KOCH utilisait 6 cc de formol.

végétal ; les œufs sont finalement détachés de la loge de ponte par introduction d'une aiguille montée en profondeur des tissus chlorophylliens sous-jacents. Le matériel ainsi extrait est transporté dans du fixateur frais et remis à l'étuve 50 °C pour une période de 48 heures. La fixation qui a donc duré au total trois jours est suivie d'un double lavage à l'alcool 70°. On colore ensuite au carmin boracique en étuve à 25 °C ; la prise de teinte dure trois jours. On différencie enfin par l'alcool chlorhydrique 1 % de façon à obtenir un contraste bien net entre la teinte rouge foncée que prend l'embryon et le ton jaune-rougeâtre qui caractérise alors le vitellus ; le chorion est devenu parfaitement transparent ; dans les conditions de travail décrites ci-dessus et par l'utilisation du carmin au borax alcoolique de Grenacher préparé suivant les indications du *Précis de microscopie de Langeron* (p. 516, 6me édition 1942) (5), la différenciation est généralement parfaite après 48 heures ; c'est immédiatement après cette opération que nous notons les dimensions de l'embryon. A ce moment, les œufs ont subi un minimum de déformation et le contraste des teintes dues à l'action de la coloration fugace que fournit le carmin boracique est maximum.

Des mensurations comparatives faites au cours du passage dans les alcools et à fortiori lors du montage éventuel au Baume du Canada ou à l'Euparal nous ont fourni une moins grande uniformité dans les séries de chiffres obtenus.

2. LA FORME DE L'EMBRYON

Les œufs sont examinés à l'aide d'une loupe stéréoscopique binoculaire et les mensurations sont faites au grossissement 50 x environ.

On sait que l'œuf de *N. sertifer* Geoff. est ovalaire, aplati dorsalement (A - côté externe correspondant à l'angle foliaire), convexe ventralement (B - côté situé en profondeur de la feuille) ; il est un

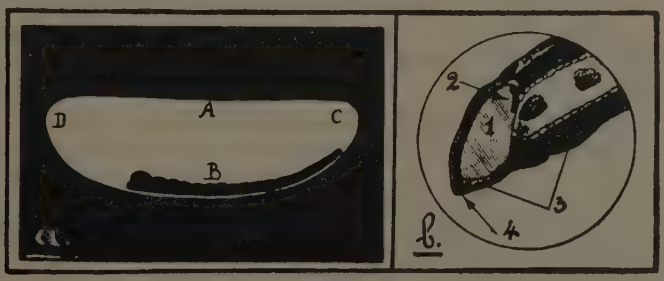


FIG. a — Œuf et embryon ; A : face dorsale ; B : face ventrale ; C : pôle caudal ; D : pôle céphalique.
FIG. b — Coupe transversale schématique d'une feuille au niveau d'un œuf (réalisée en utilisant la chambre claire) :
1: œuf ; 2: embryon ; 3: tissus foliaires ; 4: suture de la loge de ponte

peu plus large en arrière (C - pôle céphalique dirigé vers la base de l'aiguille) qu'en avant (D - pôle caudal). L'embryon se développe d'abord dans la zone convexe ventrale mais un peu excentriquement par rapport au plan sagittal de l'œuf (fig. b).

En période de repos hivernal, il s'étend linéairement sur le « fond » de l'œuf ; il s'y trouve alors en un stade de développement qui pour notre pays paraît être très sensiblement le même que celui décrit par Brygider (2) au Canada ; nous rappelons dès lors quelques unes des constatations de cet auteur.

« L'œuf contient un embryon bien développé. La position de ce » dernier est très caractéristique ; il est toujours allongé latéralement » avec un côté parallèle à la surface ventrale de l'œuf. Sa position » n'est pas complètement ventrale. Le côté de l'œuf sur lequel l'embryon » repose est toujours dirigé vers le centre de l'aiguille et jamais vers » l'extérieur ». (*).

Brygider ajoute : « La segmentation débute très tôt chez *N. sertifer* » et en période d'hibernation, il est certain que les couches embryon- » naires sont nettement différenciées ; on constate d'ailleurs dans le » mésoderme l'installation de la cavité coelomique ».

Vu en élévation, l'embryon apparaît sous l'aspect d'un organisme allongé, à capsule céphalique bien développée ; le corps est nettement segmenté et sa partie antérieure, constituée par la région céphalo-thoracique, est plus large que la postérieure c'est-à-dire l'abdomen. En fin novembre, les segments céphaliques et thoraciques sont bien distincts déjà. La région céphalique se décompose nettement en quatre segments : la tête est le segment le plus large ; lui font suite, le segment mandibulaire et les deux segments maxillaires dont le dernier est le labial. Le thorax est nettement visible lui aussi, notamment par la succession de ses trois segments élargis latéralement. L'abdomen, enfin, s'étire en onze segments successifs. La région abdominale est bien distincte de la région céphalo-thoracique car celle-ci est plus large que la précédente et il existe une nette différence de largeur entre le segment métathoracique et le segment basal abdominal ; l'abdomen se rétrécit légèrement de sa base vers son extrémité.

Si l'on suit les variations morphologiques embryonnaires, on constate que dans la nature et par utilisation de la technique décrite, la bandelette germinative apparaît avec netteté dix à quinze jours après le dépôt des œufs ; elle est alors allongée et étroite et elle atteint très hâtivement une dimension qui semble ne s'accroître que très faiblement pendant une longue période de la vie de l'œuf c'est-à-dire, chez nous et en 1954-55, d'octobre à fin février-mars.

(*) C'est pourquoi lors des prises de dimensions (v. p. 126) de l'embryon, l'œuf doit reposer sur son arête dorsale, obliquement par rapport à la verticale, de façon à préciser la largeur exacte de la bandelette ; cette position est atteinte facilement en faisant reposer latéralement l'œuf examiné sur son voisin.

Dès lors, il était intéressant pour caractériser la croissance de l'embryon de rechercher une région du corps qui par ses dimensions, aurait une signification du développement ; c'est ainsi que nous avons pensé à chiffrer chaque stade successif de l'activité embryonnaire par un rapport mathématique dont l'un des membres serait la valeur constante que représente la longueur de la bandelette embryonnaire et l'autre la variable essentiellement caractéristique de la croissance proprement dite.

3. RECHERCHE DU RAPPORT DE CROISSANCE

Par l'examen microscopique des embryons, nous avions noté, lors de chaque essai réalisé à l'aide d'une vingtaine d'œufs, les dimensions suivantes : Longueur de l'œuf (Lo), Largeur de la capsule céphalique (lc), Longueur et largeur moyenne de la bandelette germinative (Le et lm — cette dernière dimension étant prise à la base de l'abdomen, immédiatement sous le segment métathoracique).

Nous avions chiffré les rapports suivants : $\frac{Le}{Lo}$, $\frac{lm}{lc}$, $\frac{lm}{Lo}$, $\frac{lc}{Lo}$ et $\frac{lm}{Le}$ et leur étude nous a amené, comme nous allons le justifier à retenir uniquement le rapport $\frac{lm}{Le}$, c'est-à-dire largeur moyenne de l'embryon sur longueur totale de l'embryon.

Dans l'état des connaissances acquises par nos essais, il nous paraît en effet actuellement irrationnel de constituer un même rapport à l'aide de dimensions prises sur des matériaux dissemblables comme par exemple d'une part le chorion ou le vitellus et d'autre part la bandelette germinative ; ceux-ci sont effectivement très éloignés l'un de l'autre par leur structure et leur composition ; ils sont en fait, par leur passage dans les bains de préparation et pour chaque lot d'œufs utilisés, sujets à des déformations différentes, même si les techniques préparatoires sont appliquées avec le maximum de soins.

En conséquence, nous n'avons donc plus retenu les rapports $\frac{Le}{Lo}$, $\frac{lm}{Lo}$ et $\frac{lc}{Lo}$; ils nous ont ont d'ailleurs fourni des résultats peu ou pas significatifs par des chiffres dont la succession était quelquefois aberrantes.

D'autre part, l'étude du matériel préparé nous a fait constater, pour la capsule céphalique, des variations morphologiques non progressives dans le temps ; les lobes céphaliques en effet, sont bien développés et soudés dès le début de la formation de la bandelette ; ensuite, ils sont fortement saillants latéralement ; plus tard enfin, ils sont moins divergents ; dès lors, le rapport $\frac{lm}{lc}$ n'était pas significatif lui aussi par ces irrégularités et son étude fut également abandonnée.

Finalement, seul le rapport $\frac{lm}{Le}$ restait à analyser. L'intérêt de ce rapport semble réel. En effet, il est établi à l'aide de deux dimensions prises chacunes sur l'embryon lui-même ; il est d'une valeur pratiquement indépendante des déformations qu'aurait pu subir la bandelette germinative en cours de préparation. Si on objecte l'existence de contractions différentes possibles suivant la longueur comparativement à la largeur du sujet, il faut très logiquement admettre alors aussi la régularité de ces variations dans le temps, ce qui n'entache en rien, par la constance de la relativité des valeurs obtenues, l'allure générale de la courbe recherchée, c'est-à-dire la suite des valeurs indicatrices de la croissance de l'embryon.

Finalement, il était donc indispensable de trouver une région du corps où la croissance était régulièrement progressive chronologiquement.

La largeur du segment basal abdominal nous parut répondre à ce desideratum ; ce segment avons-nous dit est plus étroit que son voisin, le métathoracique et par conséquent, il est facilement localisable pour en préciser sa longueur.

Cependant, puisque nous chiffrons périodiquement un rapport $\left(\frac{lm}{Le}\right.$ — pour éliminer l'influence des déformations dues aux techniques préparatoires et dont l'intensité peut être variable d'un essai à un autre), la signification mathématique de celui-ci exige, pour une étude comparative des résultats, une valeur constante pour le dénominateur ; c'est pourquoi nous avons choisi pour celui-ci la longueur de la bandelette germinative (Le).

Pour la période du 6 novembre 1954 au 25 février 1955, c'est-à-dire celle englobant largement la période d'arrêt hivernal du développement, les variations enregistrées de la longueur de la bandelette ont été celles que nous lisons dans le tableau ci-dessous, sous l'indicatif Le.

Par leur vue d'ensemble les chiffres attribués à Le ne nous renseignent pas sur une élongation progressive éventuelle dans le temps de la bandelette germinative ; les nombres indiquent des valeurs individuellement différentes mais ils signifient néanmoins par l'amplitude et les limites de leurs variations que l'embryon ne s'est que très peu voir même pas allongé de début décembre à début février, les variations pouvant être dans ce dernier cas et très vraisemblablement d'ailleurs, imputables uniquement à une action différente pour chaque essai des bains de préparation. Cependant, si même nous voulions admettre l'idée d'une élongation réelle, les valeurs absolues des « quotients de croissance » diminueraient alors progressivement c'est-à-dire au fur et à mesure de l'avancement en âge de l'embryon ; en effet, la croissance du dénominateur de notre fraction entraînerait ainsi une diminution progressive de la valeur absolue de chaque quotient utilisé corrélativement avec l'âge ; cette diminution étant régulière, elle n'entacherait en rien l'allure

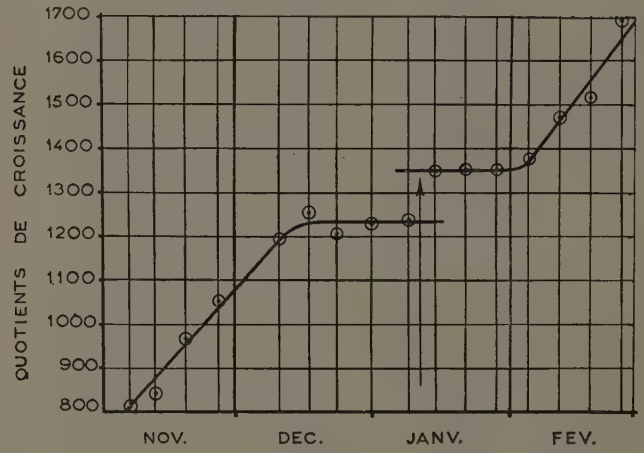
TABLEAU

Mois (1954-55)	NOVEMBRE				DECEMBRE				JANVIER				FEVRIER			
Date de fixation des œufs	6	12	19	26	10	17	23	31	8	14	21	28	4	11	18	25
lm	4.5	4.7	5.4	6.0	6.2	5.9	6.5	7.0	6.3	7.7	7.7	8.1	7.7	8.3	8.6	9.0
Le	55.5	56.1	56.1	57.0	51.9	47.3	54.0	57.2	51.0	57.3	57.0	60.0	56.0	56.6	56.9	53.6
$\frac{lm}{Le} \times 10.000$	811	838	963	1053	1195	1247	1204	1224	1235	1344	1350	1350	1375	1466	1511	1679

générale de la courbe que suggère la suite des quotients trouvés et dont les valeurs doivent simplement nous renseigner, dans le cadre de cette relation, sur l'existence et la durée d'un arrêt hivernal du développement embryonnaire.

4. COURBE DU DEVELOPPEMENT EMBRYONNAIRE

Le tableau que nous venons d'examiner rapporte, outre les valeurs de lm et Le, celles des « quotients de croissance » obtenues chaque semaine environ, pendant la période d'observation considérée. La courbe ci-dessous est la traduction graphique de ces chiffres.



Mais avant d'interpréter cette courbe, quelques remarques s'imposent par l'examen des chiffres desquels dérivent le graphique.

Si les valeurs attribuées à lm et figurant dans le tableau constituent une suite presque toujours progressive dans le temps, il n'en est pas de même avons-nous dit pour celles accordées à Le. Deux facteurs entrent en cause dans l'explication des variations enregistrées ; ils intéressent d'ailleurs autant la largeur moyenne de l'embryon que la longueur totale de celui-ci ; mais ils impressionnent moins lm que Le car lm croît dans le temps tandis que Le conserve pratiquement la même valeur. Les deux facteurs en cause sont d'une part les légères déformations différentes inévitables dues aux techniques préparatoires et subies par l'ensemble des œufs groupés en chacun des lots examinés chaque semaine et d'autre part les variations individuelles de développement de chaque œuf au sein d'un même lot au moment du prélèvement des œufs. A ce dernier point de vue, signalons que tous les œufs utilisés ont cependant été prélevés sur deux pousses terminales de pin seulement; nous voulions ainsi diminuer, autant que faire se peut, l'influence

de l'échelonnement des pontes, c'est-à-dire disposer d'œufs à développement embryonnaire aussi uniforme que possible. Or, en 1954-55 et pour notre petite parcelle d'essais, les pontes se sont échelonnées pendant une quinzaine de jours environ et ont été très peu abondantes. Il est donc possible que certains œufs soient d'une dizaine ou au maximum d'une quinzaine de jours plus vieux que leurs voisins. Il fut matériellement très difficile sinon impossible de fixer, même approximativement, l'âge exact de chaque ponte ; elles ont été très vraisemblablement produites par deux ou trois femelles différentes dont nous avions d'ailleurs constaté antérieurement le séjour temporaire sur les rameaux utilisés. Le très mauvais temps qui a sévi à l'automne 1954 pendant la période des apparitions imaginales a très fortement contrarié le travail des pondeuses ; leur fécondation a été très aléatoire ; de plus, la protandrie accusée qui caractérise *N. sertifer* fit que l'apparition des mâles fut massive et subite grâce à de courtes mais excellentes conditions atmosphériques ; mais le bon temps prit fin en début de sortie des femelles. C'est ce qui a diminué dans de très fortes proportions l'importance de la descendance ; le nombre d'œufs déposés par pondeuse a été très peu élevé ; il fut généralement de l'ordre d'une trentaine environ, rarement plus ; certaines femelles en ont pondu moins de dix. Nous n'avons donc pu disposer de tiges de pin garnies en leur extrémité d'un nombre suffisamment important d'œufs issus d'un même individu ; en année normale, on le sait (1) chaque pondeuse dépose un total de 80 à 100 œufs par extrémité végétale.

Par la force des choses, il s'agissait donc dans nos essais d'œufs relativement dissemblables par l'hétérogénéité du degré individuel de développement embryonnaire. Or, lorsque la croissance de l'embryon se ralentit et à fortiori lorsqu'elle s'arrête, les écarts traduits par les mensurations de taille des bandelettes germinatives tendent, partiellement par la dispersion graphique des points obtenus par les prises de dimensions, à masquer le repos embryonnaire qui en principe devrait se traduire par une portion rigoureusement horizontale (parallèle à l'axe des durées) de la courbe de croissance ; cet effet se produit notamment lorsque la valeur d'un quotient est supérieure à celle de celui qui lui est immédiatement voisin ; on peut le constater tout particulièrement pour la valeur correspondant au 17 décembre 1954, c'est-à-dire en une date inclue dans la période d'arrêt hivernal du développement embryonnaire.

L'examen du graphique nous fait également constater qu'il existe une solution de continuité dans la courbe tracée (période de repos hivernal). Celà s'explique par le fait que chacun des deux tronçons se rapporte à des extrémités de pousses de pin différentes, dès lors à des groupes de pontes différentes ; les œufs ayant fait l'objet de la première série d'essais avaient été épuisés le 8 janvier 1955. Nous devons donc conclure que le stade de développement caractéristique du repos hivernal peut ne pas être toujours exactement le même d'une ponte à une autre et à fortiori d'un groupe de pontes à un autre.

D'autre part, le degré de dispersion des quotients de croissance sur notre système d'axes coordonnés rectangulaires est plus marqué pour le premier tronçon de la courbe que pour le second ; celà signifie que les œufs prélevés entre le 6 novembre et le 8 janvier (première pousse de pin utilisée) constituaient des populations plus hétérogènes par leur stade individuel de développement que ceux récoltés du 14 janvier au 25 février (deuxième pousse de pin utilisée). Nous avons d'ailleurs parlé précédemment de cette hétérogénéité due à l'échelonnement des pontes et justifiée par la présence constatée par nous-même de plusieurs femelles sur chacun des rameaux ayant fourni le matériel d'étude.

Cependant, quoique le stade de développement des embryons soit légèrement différent en période hivernale pour chacun des deux rameaux porteurs de pontes, la marche de la croissance de la bandelette germinative montre une caractéristique commune : celle de l'arrêt complet hivernal du développement embryonnaire. La courbe nous fournit donc bien ainsi la réponse à la question que nous nous étions posée en début de cette étude, c'est-à-dire que l'*œuf de Neodiprion sertifer* GEOFF. *subit en Moyenne Belgique et en 1954-55 un arrêt de développement de mi-décembre à fin-janvier, soit un repos hivernal d'une durée de un mois et demi environ.*

BIBLIOGRAPHIE

(1) BRENY, R. et L. DETROUX. — Considérations sur la biologie et la nuisance de *Neodiprion sertifer GEOFF.* et rapport sur les traitements effectués en 1949 dans les pineraies de la région de Spa. *Parasitica.* T. VI, n° 4, 1950.

(2) BRYGIDER, W. — In what embryonic stage do the eggs of *Neodiprion* enter the Winter diapause ? *Canadian Journal of Zoology,* Vol. 30, n° 2, April 1952.

(3) CHAUVIN, R. — Physiologie de l'insecte. Paris 1949.

(4) GASOW. — Der grüne Eichenwicher *(T. viridana L.) Arb. Biol. Reichsanst. Land. u. Forst.* XII, n° 6, pp. 356-508, Berlin 1925.

(5) LANGERON, M. — Précis de microscopie. Paris 1942.

Contribution à l'étude du massif siluro-cambrien du Brabant dans la vallée de l'Orneau (*)

par

L. GERLACHE

Lors de sa réunion extraordinaire, la société géologique de France visita une première fois la localité de Grand-Manil, près de Gembloux, le 7 septembre 1835. C'est à cette occasion que furent découverts, par M. Adare, les premiers fossiles siluriens de la Belgique (1) : un tribolite voisin du *Calymene Blumenbachii* (espèce typiquement silurienne) et un grand nombre de coquilles bivalves dont la plupart furent rapportées alors aux genres *Spirifer* et *Strophomena* (2). On montra plus tard qu'il s'agissait de *Calymene incerta*, *Orthis biforata* qui ressemble à un spirifer et de *Strophomena rhomboïdalis* (2). Ce fait resta inaperçu, vraisemblablement parce que les assimilations, que l'on avait faites de ces terrains avec ceux d'autres pays, avaient successivement changé et, parce qu'en dernier lieu, les terrains anciens du Brabant avaient été rapportés au Dévonien inférieur.

En 1841 et en 1847, A. H. DUMONT, en décrivant la bande schisteuse de Fosses (3 et 4), signale dans celle-ci de rares fossiles ; il est frappé par la ressemblance qui existe entre ceux-ci et ceux provenant du gîte de Grand-Manil.

En 1860, J. GOSSELET (5), vint visiter le gîte de Grand-Manil ; en 1861 (6), il visita également le gîte de Fosses où DUMONT avait signalé des fossiles analogues à ceux de Grand-Manil ; il y trouva dans l'un et dans l'autre gîte, des fossiles qui furent déterminés par J. BARRANDE (7), comme siluriens.

En 1863, au cours de sa réunion extraordinaire tenue à Liège du 30 août au 6 septembre, la société géologique de France est revenue à Grand-Manil et elle y a repris ses discussions quant à l'origine des « eurites ». Dans son compte rendu, G. DEWALQUE (9) nous dit : « Les graptolithes, dont la société a pu constater la présence au sud de l'eurite,

(*) Déposé à la rédaction le 15 mars 1956.

ont été depuis retrouvés de l'autre côté par C. Malaise (1). La Société s'est rendue ensuite à 150 m au N.O. et l'on a recueilli quelques fossiles dans de petites excavations exploitées par ce géologue ; aucune nouveauté n'est à signaler... D'après les indications de M. Malaise, la bande fossilifère avait 6 à 8 m de puissance (Malaise l'estima plus tard à une dizaine de mètres) ; les trilobites se trouvaient particulièrement vers le haut, tandis que les orthis se rencontraient surtout dans les bancs inférieurs moins quartzeux et plus feuilletés. J'ai trouvé, dans ces excavations, direction 79°, inclinaison 71° vers le Sud, exactement comme de l'autre côté de l'eurite. La direction générale de ce massif ne s'éloigne jamais beaucoup de la ligne E.O. et l'inclinaison, ordinairement considérable, se présente presque toujours vers le Sud. Mais on est très exposé à prendre un joint de clivage schisteux pour un joint de stratification, j'ai eu l'occasion de m'en apercevoir ».

Constantin MALAISE

En 1864, dans une note sur l'existence en Belgique, de nouveaux gîtes fossilifères à faune silurienne, C. Malaise (10) relate que, pour le guider dans les recherches qu'il a entreprises, il avait cette phrase de Dumont (11) :

« Les phyllades simples ou quartzeux sont parfois fossilifères ; les localités où on les observe sont : entre Rebecq et la ferme Grande-Haie, au Nord de la ferme de Petite-Haie, à Chenois, au nord et au sud du château de Fauquez, au N-O et près de Nivelles, à Grand-Manil près de Gembloux ».

Malaise trouve aussi, indépendamment du gîte classique de Grand-Manil, deux autres endroits situés à environ 800 m à l'est de ce point, où il rencontre des traces de fossiles siluriens. Il retrouve également les autres gîtes signalés par Dumont et fait remarquer que toutes ces couches sont remarquables par la grande quantité de brachiopodes que l'on y rencontre, espèces figurées par Sir Murchison (12) comme caractéristiques du Caradoc sandstone telles que : *Orthis testudinaria* Dalm., *O. elegantula* Sow., *O. calligramma* Dalm., *O. flabellum* Sow., *O. vespertillo* Sow., *O. grandis*. Dans les différents gîtes, on trouve plusieurs

(1) Constantin Malaise, docteur en sciences naturelles et répétiteur de minéralogie et de géologie à l'école des mines de Liège, fut nommé titulaire de la chaire d'histoire naturelle à l'Institut de Gembloux, au moment de la fondation de celui-ci, le 30 octobre 1860. Il avait été l'élève d'André Dumont. Ses nombreux travaux sur le Silurien de la Belgique dont il était le spécialiste, lui ont ouvert les portes de l'Académie des sciences de Belgique où il entra en qualité de membre effectif, le 15 décembre 1873. Il fut directeur de la classe des sciences en 1910 et admis à l'éméritat en 1892.

formes qui se rapportent à ces divers types ; quoique ces gîtes offrent souvent les mêmes espèces, il arrive fréquemment que telle espèce qui domine dans un endroit est très rare dans un autre.

En 1865, C. MALAISE (13) revient sur le gîte de Grand-Manil dont il décrit quelques fossiles nouveaux qu'il vient de rencontrer ; il signale également des trouvailles à Chenois, Fauquez...

En 1873, C. MALAISE (14) signale, qu'à la suite d'une reprise de l'extraction, il a recueilli de nombreux exemplaires (3000) dans le gîte de Grand-Manil ; beaucoup de ceux-ci sont en meilleur état que ceux trouvés précédemment. Il signale que les bancs inférieurs renferment surtout des *Orthis* et des *Orthoceras*, et que les bancs supérieurs sont surtout à *Calymene incerta*. Sans désigner exactement l'endroit, il fait mention d'un gîte à *Calymene*, à *Leptaena* et à *Orthis* sp. à 500-600 m à l'est-nord-est du gîte classique. Dans le gîte classique, ainsi qu'au nord de l'eurite, il y a des impressions scalariformes en mauvais état qui, dit MALAISE, appartiennent probablement au genre *Climacograptus*. Mais les climacograptus sont très abondants dans les 2 m de schistes grisâtres altérés qui se trouvent au sud de l'eurite et qui la bordent.

Plus au sud, à quelques centaines de mètres, dans une petite carrière abandonnée, MALAISE a trouvé de très beaux *Graptolithus priodon* dans des phyllades gris-jaunâtres avec bancs de quartzites feuilletés gris-noirâtres, qui se poursuivent jusqu'à la poudrière de Corroy.

MALAISE comprend sous le nom d'*assise de Gembloux*, tous les schistes qui affleurent dans la vallée de l'Orneau depuis Gembloux jusqu'à Alvaux.

En 1883, C. MALAISE (15) soumet à la classe des sciences, les résultats obtenus en travaillant à l'échelle stratigraphique du levé du terrain silurien. Il donne aux quartzites gris et phyllades à *Monograptus priodon*, et à l'ensemble des roches schisteuses qui vont jusqu'à Alvaux, le nom d'*assise de Ronquières* (Silurien supérieur) ; il range toutes les roches qui affleurent plus au Nord, à Gembloux et à Grand-Manil, sous le nom d'*assise de Gembloux* avec laquelle il fait du silurien moyen, réservant les quartzophyllades à fucoïdes de Villers-la-Ville pour le silurien inférieur sous le nom d'*assise de Villers-la-Ville*.

En 1887, C. MALAISE annonce (16) qu'il a reconnu trois niveaux à graptolithes dans le Silurien du Brabant, correspondant à des zones bien caractéristiques dans les Iles britanniques :

1) le niveau inférieur correspond à celui de Bala et de Caradoc ;
2) le niveau moyen est équivalent au Llandovery ;
3) le niveau le plus récent est caractérisé par la faune de Wenlock et de Ludlow.

En 1900, C. Malaise (17) revient sur les différentes observations qu'il a faites et assigne aux roches siluriennes, les noms des assises anglaises de même âge :

1) A Gembloux, dans l'*assise de Gembloux*, affleurent divers schistes noirâtres, plus ou moins quartzifères. A Grand-Manil, on atteint la partie supérieure de cette assise, au gîte dont la faune indique le niveau du *Caradoc*. Les roches sont des schistes gris-bleuâtre, compacts et pyritifères, des schistes quartzifères, grisâtres, jaunâtres et bigarrés, très rarement calcarifères.

2) A une trentaine de mètres au S, on trouve des schistes quartzeux altérés, gris-jaunâtre, celluleux, souvent imprégnés de matières feldspathiques, pétris d'anneaux d'encrines et de débris de fossiles. Seule, une détermination générique est possible : ces roches sont rattachées au *Llandovery*.

3) Près de ce gisement, il a trouvé de nombreux débris d'une porphyroïde, mais il n'a pu se rendre compte de la place occupée par cette porphyroïde ; elle paraît bien être inférieure aux rhyolithes.

4) Suivent des schistes très fossilifères et on arrive aux eurites ou rhyolithes anciennes qui sont intercalées entre des schistes contenant de nombreux échantillons de graptolithes. Le niveau à graptolithes situé au-dessus des eurites se trouve en Angleterre à la base du Llandovery; le niveau situé au-dessous de l'eurite, renferme des traces de graptolithes mais en trop mauvais état pour en permettre une détermination spécifique.

5) A quelques centaines de mètres plus au S, au point où l'Orneau tourne à droite, Malaise a rencontré une faune graptolithique qu'il cite, dont *Monograptus priodon*. Il avait rapporté ce niveau à la faune du Wenlock ; Barrois l'a considérée comme *Tarannon* (Llandovery supérieur), assimilation que Malaise a adoptée également.

6) A 600 m au sud de ce dernier gîte, près de l'ancienne poudrière de Corroy-le-Château, il a trouvé dans des schistes noirâtres : *Orthoceras sp., Retiolites Geinitzianus, Monoclimacis (Monograptus) vomerina* c'est-à-dire le *Wenlock*.

7) Quant au niveau à *Monograptus colonus* qui existe à Monstreux, Malaise estime qu'il pourra se rencontrer, dans la vallée de l'Orneau, plus au sud, vers Vichenet : c'est le *Ludlow*.

En 1901, C. Malaise (18), qui avait découvert auparavant des débris d'une porphyroïde (17), a pu situer cette porphyroïde à 25 m au sud du gîte classique de Grand-Manil. Elle est limitée au N, par des schistes quartzeux compacts, noir-bleuâtre. On voit ensuite trois petites couches de porphyroïde, de teinte gris-blanchâtre en très bon état ; puis un mètre cinquante de porphyroïde altérée, fossilifère ; viennent ensuite des schistes noir-bleuâtre, feuilletés. L'ensemble est presque vertical et sa direction est E-W. Les rhyolithes se trouvent à

environ 75 m plus au sud ; elles sont donc supérieures à la porphyroïde. MALAISE a rapporté au Llandovery les fossiles trouvés (17) jadis dans les débris de cette porphyroïde.

En 1910, C. MALAISE (19) dit reconnaître à la base de l'assise de Gembloux, entre celle-ci et l'assise de Villers (quartzophyllades du moulin de la Scaille), un ensemble qu'il considère comme l'équivalent de l'assise d'Oxhe de Sambre-et-Meuse, donc du *Llandeilo*. Il la nomme *assise de Rigenée*. Il dit avoir trouvé, au N. de Gembloux, sans préciser l'endroit, *Illaenus giganteus*. Pour MALAISE, l'assise de Rigenée, est constituée par des roches de la partie inférieure de l'assise de Gembloux et parfois, par quelques-unes des couches supérieures de l'assise de Villers.

Il déclare avoir trouvé à Vichenet, sans préciser davantage l'endroit de la récolte, *Monograptus colonus*, en très bon état, au niveau stratigraphique qu'il devait occuper : le *Ludlow*.

MALAISE établit donc les identités suivantes :

Silurien supérieur (Gothlandien)

Ludlow — Assise de Vichenet ($Sl_{2b'}$).
Wenlock — Assise de Corroy (Sl_{2b}).
Landovery — Assise de Grand-Manil (Sl_{2a}).

Silurien inférieur (Ordovicien)

Caradoc — Assise de Gembloux (Sl_1b).
Llandeilo — Assise de Rigenée (Sl_1a').
Arenig — ? (Sl_1a).

Pour MAILLIEUX (20), c'est très arbitrairement que MALAISE a attribué au Llandeilo, l'âge de l'assise de Rigenée ; celle-ci lui apparaît problématique car elle n'a produit, à Rigenée, que quelques ostracodes du genre *Primitia*. Ces couches rapportées par MALAISE au Llandeilo sont donc douteuses comme telles ; cela ne signifie nullement toutefois, pour MAILLIEUX, que le Llandeilo n'est pas représenté en Belgique.

Quant aux schistes à graptolithes situés au sud de l'eurite de Grand-Manil et rangés, par MALAISE, à la base de l'assise de Grand-Manil, E. MAILLIEUX (22) les rattache aux couches de Birkhill (Llandovery) sans qu'il soit possible d'y tracer avec précision des zones comparables à celles qui ont été reconnues en Angleterre. D'autre part, l'assise de Corroy (sensu MALAISE) lui est totalement inconnue.

Dans une étude ultérieure, E. MAILLIEUX (23), revoyant la collection laissée par feu le professeur MALAISE, range les deux gîtes appar-

tenant respectivement au Llandovery et au Tarannon, de la manière suivante :

Tarannon (upper Valentian)	Llandovery (lower Valentian)
d — Non observé.	f — Non observé.
c — Non observé.	e — Schistes de Voroux-Goreux à *Rastrites peregrinus.*
b — Psammites de Grand-Manil à *Monograptus crispus.*	d — Non observé.
a — Non observé.	c — Schistes de Grand-Manil à *Monograptus ciphus.*
	b — Non observé.
	a — Non observé.

Quant au Caradoc, il classe le gîte classique de Grand-Manil dans le tableau suivant :

2 — *Caradoc supérieur*

Non observé.

1 — *Caradoc inférieur*

C_2 — Schistes de Gembloux à *Nicollela actoniae.*
C_1 — Schistes de Fauquez à *Pleurograptus linearis.*
b — Non observé.
a — Non observé.

En 1939, E. Maillieux (24), dans la classification proposée pour le Silurien du Brabant, considère les couches de Rigenée d'âge llandeilien et il mentionne *Illaenus sp.*

En 1942, R. et P. Anthoine (25) signalent que ce dernier fossile n'a pas été trouvé à Rigenée mais bien dans un puits creusé à la distillerie Robert Stalon, rue du Bordia, à Gembloux. C. Malaise le détermina comme étant *Illaenus giganteus.*

En 1954, P. Michot (26) reprend l'étude d'ensemble du Silurien et signale que, dans le massif du Brabant :

L'*Arénigien* n'est pas reconnu paléontologiquement mais que rien n'implique son absence, au contraire. Le manque de témoignages paléontologiques est dû, vraisemblablement, à la difficulté qu'il y a de les découvrir dans des roches affectées d'une schistosité transversale à la stratification qui n'est pas elle-même facile à déceler.

Au sujet du *Llandeilien*, que Malaise a désigné sous le nom d'*assise de Rigenée*, M. Michot estime que « des recherches complémentaires sont nécessaires pour en certifier l'existence et en mieux définir le contenu ».

Le *Caradocien* désigné par C. Malaise sous le nom *d'assise de Gembloux* est bien connu, mais son contenu lithologique est mal défini

vers la base, car sous les couches qui, à Grand-Manil, contiennent la faune caradocienne, il existe à Gembloux, un ensemble de phyllades et de micropsammophyllades foncés dont l'âge exact n'est pas connu avec précision et que l'on fait rentrer sans autre argument dans l'assise de Gembloux. L'épaisseur de l'assise de Gembloux est impossible à déterminer du fait que sa délimitation vers la base n'est pas précisée paléontologiquement. On en est réduit à y faire rentrer le Llandeilien voire l'Arenigien. Compris dans ce sens, il est difficile de mesurer l'épaisseur de cet ensemble en raison de l'existence certaine de plis dont on ignore l'ampleur.

Le *Llandovery* est désigné par MALAISE sous le nom d'*assise de Grand-Manil*. A Grand-Manil, il existerait, d'après MALAISE, tout à la base du Llandovery, un niveau à *Climacograptus scalaris* au-dessus duquel se trouveraient les roches rhyolithiques bien connues.

Dans la tranchée qui se trouve immédiatement au nord de la route de Gembloux-Mazy, des phyllades dolomitifères contiennent un horizon graptolithique à *Monograptus vomerinus* et *M. priodon* qu'il faut probablement ranger dans la zone à *Cyrtograptus Murchisoni* et appelée par MALAISE, *assise de Corroy* ou *Wenlock*. M. P. MICHOT signale que les récoltes de graptolithes qu'il a faites à Pâques en 1940, ont malheureusement été détruites par les bombardements que Gembloux eut à subir dès les premiers jours de la guerre 1940-1945. L'épaisseur de l'assise de Corroy ne peut être chiffrée avec précision ; on n'en connaît, en effet, pas le sommet ; d'autre part, les couches sont affectées de plissements dans la vallée de l'Orneau.

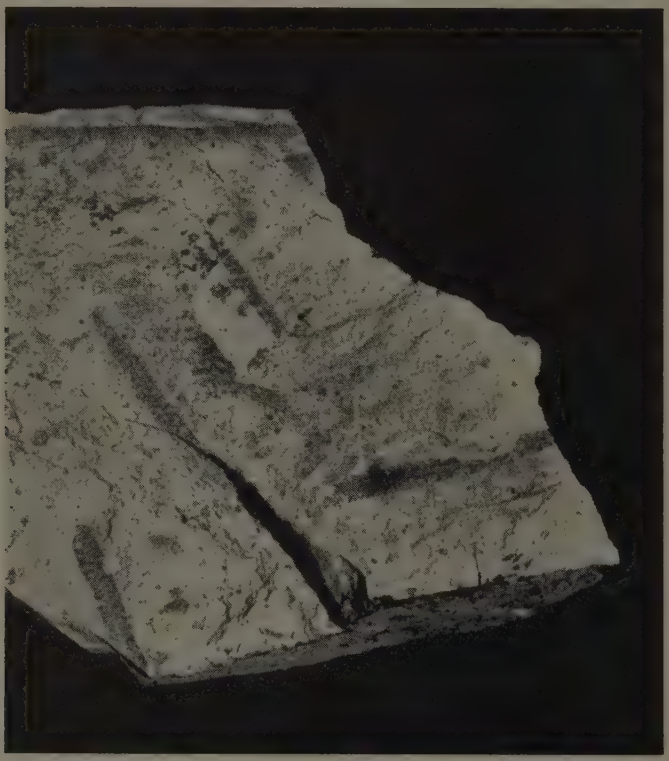
Le *Ludlow* n'a pas été reconnu, ni paléontologiquement, ni lithologiquement, dans la vallée de l'Orneau. Il affleurerait cependant à Vichenet où MALAISE aurait découvert *Monograptus colonus* ; mais ce point n'a pas reçu de confirmation. Si cependant, il en était bien ainsi, il faudrait ranger, dans cette assise, les phyllades verdâtres et noirâtres dans lesquels se développent parfois de petits porphyroblastes de chlorite. A Vichenet, les couches sont très plissées et les lacunes d'observation ne permettent pas de situer avec précision la superposition de cet ensemble par rapport au Wenlock affleurant plus au Nord.

Et M. P. MICHOT de conclure : le bilan de la faune du Silurien du Brabant est assez maigre et des recherches méritent d'être poursuivies.

Dans ce qui suit, nous nous proposons de livrer le résultat des recherches qui ont été poursuivies depuis cette dernière publication.

En ce qui concerne le Llandovery, nous savons qu'en 1900, C. MALAISE (17) avait signalé, sous l'eurite de Grand-Manil, des schistes renfermant « des traces de graptolithes mais en trop mauvais état pour en permettre une détermination spécifique ». La carrière d'eurite visitée, à deux reprises, par la Société géologique de France, a cessé toute

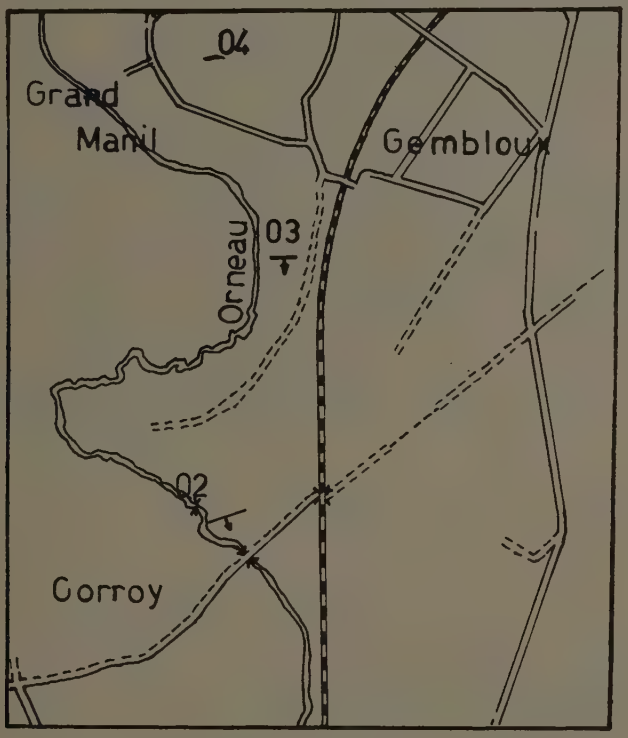
activité depuis très longtemps. Déjà en 1895, Ch. DE LA VALLEE POUSSIN (27) écrivait : « Malheureusement aujourd'hui, l'ancienne carrière est abandonnée depuis 15 ans. Déjà, en 1874, nous ne pûmes vérifier que quelques grands traits du profil publié en 1863, par G. DEWALQUE (9). C'est beaucoup pire maintenant : la presque totalité du gisement est occupée par des débris terreux revêtus de gazons ; on ne voit plus à l'affleurement qu'un petit nombre de têtes de bancs séparés par de grands intervalles ; et quelques parois de la masse d'aspect porphyrique qui occupe le nord de l'ancienne exploitation »



Schistes à *Climacograptus scalaris*

... « le point limite situé au sud est enseveli sous les décombres et celui séparés par de grands intervalles et quelques parois de la masse J'ai cherché à atteindre, ne fût-ce qu'en un point, par l'enlèvement des déblais, le point limite nord de l'eurite et du schiste silurien. J'ai vu que l'eurite succédait sans transition au schiste silurien à peu près normalement et renfermant des traces organiques ».

A l'heure actuelle, la carrière a été complètement remblayée ; il n'y a plus moyen d'y faire une observation quelconque ; mais une autre carrière (04) a été ouverte, à 360 m au N-E de la première. Elle se trouve actuellement dans la propriété Denis ; elle aurait été exploitée, dès 1880, par la famille Lefèvre, avec un personnel très réduit, jusqu'en 1914. Bien que partiellement noyée, cette carrière permet encore d'observer les schistes siluriens verticaux de direction E-O, situés immédiatement sous l'eurite. Ces schistes sont très altérés et sont devenus blanchâtres ; ils sont criblés de petites cavités résultant de la



disparition de nombreux cristaux de pyrite. Une couche de dix centimètres de puissance renferme de nombreux graptolithes en très mauvais état. Cependant, nous avons pu y recueillir une cinquantaine d'échantillons dont certains ont pu être rapportés au genre *Climacograptus scalaris;* ils permettent, d'après le professeur O.M.B. Bulman de l'Université de Cambridge, de déterminer l'existence du *Lower Llandovery.*

En ce qui concerne l'assise de Corroy-le-Château (sensu Malaise), inconnue pour Maillieux (22), nous avons dit que M. P. Michot (26),

avait découvert, à Pâques 1940, un horizon à *Monograptus vomerinus* et à *M. priodon*. Les échantillons recueillis ont malheureusement été détruits lors d'un bombardement de Gembloux, en mai 1940 ; l'auteur nous a dit ne plus pouvoir situer le lieu de la récolte.

Au point 03, situé en face du km 1,5 de la voie du chemin de fer de Gembloux à Tamines, entre l'Orneau et le chemin de fer, existent des schistes bleuâtres alternant avec des bancs minces de quartzophyllades gris-bleu. La direction des bancs reste E-O, l'inclinaison 80° S. Après un premier examen des échantillons recueillis, nous pensons qu'il s'agit des *M. priodon* abondants du *Tarannon*.

Entre le gîte 03 et le gîte 02, nous avons découvert six autres gîtes fossilifères; le matériel recueilli à la suite de ces fouilles est à l'étude. Le résultat de celle-ci fera l'objet d'une très prochaine publication.

Nous avons trouvé, le long de l'Orneau, au point 02, un affleurement de schistes quartzeux et de psammites foncés, direction N 80° W, inclinaison 70° S, en bancs minces, contenant deux horizons graptolithiques à une distance d'un mètre l'un de l'autre. Ces deux bancs ont fourni une dizaine d'échantillons que nous avons soumis au professeur Bulman. Ce dernier, qui y a reconnu *Monograptus priodon* et *M. sp ? vomerinus basilicus*, suggère comme âge de ces roches, le *Lower Wenlock*.

En terminant, nous nous faisons un plaisir de témoigner notre vive reconnaissance au professeur O.M.B. Bulman de l'Université de Cambridge qui a eu la grande amabilité de revoir nos déterminations et de compléter celles-ci.

BIBLIOGRAPHIE

(1) *Bulletin de la Soc. Géol. de France* — 1re série. T. VI, p. 352. *(Réunion extraordinaire à Mézières, 1835).*

(2) C. MALAISE — Stratigraphie du massif siluro-cambrien du Brabant. *(Annales de la soc. géol. de Belgique.* T. 38, p. M. 135).

(3) A. DUMONT — Rapport sur les travaux de la carte géologique pendant l'année 1841. *(Rapport de l'acad. royale de Belgique.* T. VIII, p. 395).

(4) A. H. DUMONT — Mémoires sur les terrains ardennais et rhénan de l'Ardenne, du Rhin, du Brabant et du Condroz. *(Mém. ac. royale de Belg.* T. XXII, 1847-1848).

(5) J. GOSSELET — Mémoire sur les terrains primaires de la Belgique, des environs d'Avesnes et du Boulonnais — Paris 1860.

(6) J. GOSSELET — Note sur les fossiles siluriens découverts dans le massif rhénan du Condroz. *(Bull. soc. géol. de France,* 2me série, T. XVIII, p. 538, 1861).

(7) J. BARRANDE — Existence de la faune silurienne seconde en Belgique. *(Bull. soc. géol. de France,* 2me série, T. XIX, p. 754 et 924, 1862).

(8) C. MALAISE — Note sur les fossiles siluriens de Grand-Manil près de Gembloux. *(Bull. ac. royale de Belg.* 2me série. T. XV, p. 416).

(9) G. DEWALQUE — *Bull. de la soc. géol. de France.* 2me série. T. XX, p. 761, 1862-1863.

(10) C. MALAISE — Sur l'existence de nouveaux gîtes fossilifères à faune silurienne. *(Bull. ac. royale des Sciences.* T. XVIII. 2me série, p. 321, 1864).

(11) A. H. DUMONT — Terrains ardennais... *loc. citat,* p. 268.

(12) R. MURCHISON — Siluria — London 1859.

(13) C. MALAISE — Notes sur quelques fossiles du massif silurien du Brabant. *(Bull. ac. roy. des Sciences.* T. XX, 2me série, p. 871, 1865).

(14) C. MALAISE — Description du terrain silurien du centre de la Belgique. *(Mém. ac. roy.* T. XXXVII, 1873).

(15) C. MALAISE — Sur la constitution du massif silurien du Brabant. *(Bull. acad. royale des Sciences,* 3me série. T. V, 1883).

(16) C. MALAISE — Sur les schistes noirs de Sart-Bernard. *(Ann. soc. géol. de Belg.* T. XV, p. 125, 1887-1888).

(17) C. MALAISE — Etat actuel de nos connaissances sur le Silurien de la Belgique. *(Ann. de la soc. géol. de Belg.* T. XXVbis, 1900).

(18) C. MALAISE — Découverte d'une porphyroïde fossilifère à Grand-Manil. *(Ann. soc. géol. de Belgique.* T. XXIX, p. 145, 1901-1902).

(19) C. MALAISE — Sur l'évolution de l'échelle stratigraphique du siluro-cambrien de Belgique. Texte explicatif du levé géol. de la planchette de Genappe. *(Bull. soc. belge de géol.* T. XXIV, p. 145, 1910).

(20) C. MALAISE — Communications siluriennes. *(Ann. soc. géol. de Belgique,* T. XL, pp. B. 337 et 447, 1912-1913).

(21) E. MAILLIEUX — Remarques sur l'Ordovicien de la Belgique. *(Bull. soc. belge de géol.* T. XXXVI, p. 70, 1926).

(22) E. MAILLIEUX — Remarques sur le Gothlandien de la Belgique. *(Bull. de la soc. belge de géol.* T. XXXVI, p. B. 175, 1926).

(23) E. MAILLIEUX — Observations nouvelles sur le Silurien de la Belgique. *(Bull. musée histoire nat. de Belg.* T. VI, n° 15, 1930).

(24) E. MAILLIEUX — Terrains et roches de la Belgique, 1939.

(25) R. et P. ANTHOINE — Les assises de Mousty et de Villers-la-Ville du bassin supérieur de la Dyle. *(Ann. soc. géol. de Belg.* T. 66, 1942-1943).

(26) P. MICHOT — Le Silurien *(Prodrome d'une description géologique de la Belgique,* p. 39, 1954).

(27) Ch. de la VALLEE POUSSIN — Les anciennes rhyolithes dites eurites de Grand-Manil. *(Bull. acad. royale des Sciences de Belg.* 3me série. T. X, p. 253, 1895).

LABORATOIRE DE GEOLOGIE

CHAIRE DE MICROBIOLOGIE ET DE BIOCHIMIE

Contribution à l'analyse du sol par voie microbiologique (*)

par

P. MANIL, J.P. CULOT et L. BROUWERS

(Recherches effectuées de 1950 à 1954, avec l'aide de l'I.R.S.I.A.)

PLAN DU TRAVAIL

AVANT-PROPOS 143

RECHERCHES PRELIMINAIRES 148

Choix d'une souche d'*Aspergillus niger* 150
Composition du milieu de culture 150
Précisions techniques diverses 154

ANALYSES DE SOLS DIVERS

Analyses combinées avec des essais de microfumures 160
Assimilation des composés organiques du P par *A. niger* 162
Analyses d'échantillons de sols divers 165
Comparaison entre méthode *A. niger* et méthodes chimiques 168
Analyse d'échantillons de terre provenant de parcelles expérimentales 170
Analyses de sols traités et conservés dans des conditions déterminées 191

ETUDE STATISTIQUE DES RESULTATS (par P. DAGNELIE) 196

ETUDES COMPLEMENTAIRES 202

(*) Déposé à la rédaction le 11 avril 1956.

AVANT-PROPOS

Les travaux dont nous allons donner un aperçu succinct, ont fait l'objet de trois volumineux rapports. Il était hors de question de publier ces documents *in extenso*. Aussi avons-nous décidé de condenser en une première publication un certain nombre de résultats, d'observations et de remarques présentant un intérêt suffisant, selon nous.

Nous suivrons un ordre logique, ne respectant pas toujours l'ordre chronologique des essais. Certaines observations, parfois fortuites, ont en effet exigé un retour en arrière, aux fins, soit de vérification, soit de complément d'information.

Le domaine de l'agrochimie, l'un des chapitres de la pédologie, étant extrêmement vaste et complexe, nous n'avons abordé, en tant que microbiologistes et biochimistes, que certains aspects des problèmes qui se posent, au sujet de l'état, de l'action et du devenir des éléments minéraux biogéniques du sol. Nous avons, bien entendu, comparé nos méthodes biologiques d'analyse aux techniques chimiques courantes, ou du moins, à certaines d'entre elles.

Aussi, soumettons-nous, sans prétention aucune, nos travaux et nos conclusions assez fragmentaires, du reste, à l'attention critique des pédologues, des chimistes, des physiologistes.

Nous remercions I.R.S.I.A. qui a bien voulu nous favoriser de son patronage et de son aide financière. Nous remercions aussi MM. les professeurs Homes et Anciaux, G. Manil, Van den Hende, ainsi que M. Stenuit, directeur du Service pédologique de Belgique, pour le concours qui, sous des formes diverses, nous a été aimablement accordé.

*
**

Le point de départ des présentes recherches fut un travail réalisé par l'un d'entre nous en 1942 (1). Ce travail a porté essentiellement sur l'étude de terres prélevées dans des parcelles d'expériences dites « de la loi du minimum », appartenant à l'Institut agronomique de Gembloux.

Par la suite, en 1951, un second d'entre nous (J. P. Culot) (2) présenta un mémoire de fin d'études portant également sur la méthode d'analyse du sol utilisant *Aspergillus niger*.

Depuis 1952 nos recherches se poursuivirent dans ce domaine.

*
**

(1) MANIL, Paul, 1942. *Acad. Roy. de Belgique. Bulletin Classe des Sciences*, 5me série, Tome XXVIII, pp. 676-710.

(2) M. Culot est attaché, depuis juin 1954, aux Laboratoires de l'INEAC, à Yangambi (Congo Belge). Il fut remplacé par M. L. Brouwers.

L'idée d'utiliser des microorganismes en vue de l'appréciation de la teneur — et par voie de conséquence, des besoins — du sol en éléments biogéniques, est ancienne.

Il serait fastidieux de mentionner ici tous les travaux publiés à ce sujet depuis 1909, lorsque BUTKEWITSCH préconisa l'emploi d'*A. niger* en vue de l'appréciation de l'abondance relative de certains éléments minéraux biogéniques du sol (3).

Puis vinrent les travaux de A. KOSZELEZKI, de H. CHRISTENSEN, de H. NIKLAS et W. HIRSCHBERGER, de J. STOCKLASA, de E. G. DOERELL, de G. TRUFFAUT et N. BERSSONOFF, de A. STÖCKLI, de W. BENECKE et H. SÖDING, de S. WINOGRADSKI, de A. MEHLICH, E. B. FRED et E. TRUOG, et d'autres chercheurs encore.

Des références précises peuvent être trouvées dans des ouvrages généraux de Microbiologie du sol, tel celui de S. A. WAKSMAN, ou celui de O. VERONA (4).

Nous aurons l'occasion d'évoquer certains travaux récents au cours du présent travail.

Les microorganismes utilisés, les techniques préconisées furent diverses. On employa, comme organismes « tests » : *Aspergillus niger* bien connu depuis Raulin, *Cunninghamella sp. ; Azotobacter chroococcum, Saccharomyces cerevisiae,* etc.

L'utilisation des microorganismes en vue de l'étude du sol est séduisante et logique. Le caractère « vital » des réactions observées, la rapidité de certaines méthodes, leur reproductibilité, l'emploi d'échantillons de terre de faible poids, militent, à première vue, en faveur de la méthode microbiologique. D'autre part, les méthodes chimiques d'analyse du sol, dont l'intérêt n'est cependant pas à mettre en doute, se caractérisent par leur nombre et par les résultats divergents qu'elles fournissent. Chaque laboratoire, pourrait-on presque dire, préconise la sienne propre. C'est le signe du caractère relatif des indications qu'elles fournissent, et qui doivent être interprétées, pour les divers types de sol, notamment.

Et lorsqu'on tente de rapprocher les résultats analytiques des observations livrées par l'expérimentation directe sur le végétal, le problème se complique étrangement.

Est-ce à dire que les techniques microbiologiques surclassent les méthodes purement chimiques ? Il serait actuellement dangereux et

(3) BUTKEWITSCH, W. 1909. *Zhur. opit. Agron.* 10 : 136-141.

(4) WAKSMAN, S. A. 1932. Principles of Soil Microbiology. The Williams and Wilkins Cy, Baltimore.
VERONA, O. 1947. Elementi di Microbiologia Pedologica. L. Macri, Firenze.
MANIL, P. 1945. Microbes et actions microbiennes. Desoer, Liège, et Maloine, Paris.

prétentieux de le prétendre. Mais on ne peut nier que la méthode microbiologique constitue, pour l'étude du sol, une méthode d'approche que l'on ne peut sous-estimer.

De toute manière, les techniques microbiologiques constituent, si l'on veut un intermédiaire entre les méthodes purement chimiques et les méthodes physiologiques utilisant la plante supérieure.

Nous ignorons du reste, pourquoi les méthodes microbiologiques subissent un sort fluctuant, en ce qui concerne P et K, notamment.

Aux questions posées à divers chercheurs, nous furent données des explications très diverses : manque de formation biologique chez certains agro-chimistes ; complexité — discutable du reste — des méthodes microbiologiques ; fidélité à certaines méthodes « standard », etc.

Nous ne pouvons nous empêcher de citer ici quelques auteurs, dont l'opinion est favorable aux méthodes microbiologiques :

« *In conclusion it can be assumed that the Aspergillus method favourably competes with the chemical determinations, especially for copper, magnesium and potassium ; it is as accurate and sometimes even more accurate than the chemical determination and because of its low costs and simplicity it is especially suited for mass-determinations.* » (F. C. GERRETSEN) (5).

« *The Aspergillus method allows us to determine satisfactorily the quantity of potassium in the soils containing little calcium and to define the demand for the fertilization with phosphorus.* »

« *The superiority of the Aspergillus method of determining potassium over the chemical methods now being in use, is a matter of fact, because that method is suitable for mass experiments, is simple and cheap.* » (M. MICHNIEWICZ) (6).

Remarquons par souci d'objectivité que l'auteur fait des réserves quant à l'usage de la méthode « *A. niger* » dans l'analyse des sols calcaires. Dans l'analyse de tels sols, il y a peu de corrélation entre les résultats donnés par la méthode *A. niger* et les résultats donnés par la méthode chimique d'Arrhénius. Celà en ce qui concerne le dosage du P. Cette discordance ne signifie pas, à notre avis, que des deux méthodes, la méthode biologique soit la moins bonne ou la plus mauvaise...

« *De Aspergillus-methode is een zeer eenvoudige methode ; ze vraagt weinig arbeid, voorafgaandelijke scheidingen van gebeurlijk storende elementen zijn overbodig, ze valt zeer economisch uit omdat de aankoop van kostelijke toestellen overbodig is* ». (VAN MAERCKE) (7).

« *The Aspergillus-method appears to indicate phosphate deficiency in soil with a great reliability as any of the chemical methods.* (H. L. JENSEN) (8).

(5) GERRETSEN, F. C. 1949. *4th Int. Congress for Microbiology, Copenhagen. Report of Proceedings*, p. 487-488.
(6) MICHNIEWICZ, M. 1949. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Lublin, Polonia*, Vol. IV, Sectio E, p. 414-446.
(7) VAN MAERCKE, D. 1950. *Med. van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent*, Deel XV, n° 2, pp. 396-414.
(8) JENSEN, H. L. 1953. *Tidsskrift for Planteavl.* 56. Bind, pp. 429-442.

« *Among the various microbiological methods that have been used to detect the abundance of certain available plant nutrients in soils, the most specific are those that have been developed for the estimation of single nutrients. The method involving use of* Aspergillus niger *is one of the most satisfactory..... ...The method has proved most useful for testing for potassium and is quite valuable for phosphorus tests* ». (R. L. STARKEY) (9).

« *Resumerend zijn wij van de mening, dat de methode Sekera, na enkele niet principiële technische wijzigingen en herziening der grenswaarden, ook voor het onderzoek van tropische gronden een belangrijk hulpmiddel zal blijken te zijn om een indruk te krijgen van de wijze, waarop een grond vermoedelijk zal reageren op phosphaat- en kalitoevoeging.*

De eenvoudige toepasbaarheid, goedkope uitvoering en snelle resultaten, maken haar bij uitstek geschikt voor een snel oriënterend onderzoek op grote schaal... (H. GONGGRIJP) (10).

H. NIKLAS, un des promoteurs de la méthode « Aspergillus », et son collaborateur O. TOURSEL, écrivent ce qui suit, en conclusion d'une série d'essais :

« *Die bereits seit längerem bekannte Art des Untersuchung auf die Nährstoffe Kali und Phosphorsäure erscheint nunmehr in neuer abgeänderter und vereinfachter Fassung.*

... ...

Neu eingebaut ist ausserdem noch die in Verbindung mit dem mikrobiologischen Düngungsversuch durchführbare Ermittlung der Bodensorption für die Phosphorsäure. Dadurch ist dieses so wichtige Merkmal eines Bodens ohne nennenswerten Mehraufwand an Zeit und Material leicht und sicher bestimmbar geworden.

Als wesentlicher Fortschritt ist die Erweiterung der Methode auf die Bestimmung von Spurenelementen und insbesondere auf die mengenmässige Ermittlung von leicht abbaubaren Humus-und Stickstoffsubstanzen anzusehen.

... ...

Alles im allem zeigen sich die wertvollen Eigenschaften der Aspergillus methode, als einer biologischen Bodenuntersuchungsmethode, mit aller Deutlichkeit :

Es ist u.E. die einzige bisher bekannte Schnellmethode, die in der Lage ist, alle im Boden vorkommenden und für die Pflanzen lebensnotwendigen Stoffe nach dem gleichen Prinzip und mit grösster Einheitlichkeit der Versuchsmethodik zu bestimmen. Wegen ihre Billigkeit und der Schnelligkeit und Einfachheit ihrer Handhabung erweist sie daher für Massenuntersuchungen besonders geeignet.

Der von uns durchgeführte mathematisch-graphische Vergleich mit vielen tausend Ergebnissen verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden beweist eindeutig, dass die Aspergillusmethode, nicht zuletzt in bezug auf den hohen Grad ihrer Treffsicherheit, zu den besten bekannten Methoden überhaupt gehört ». (10bis).

Nous aurions pu donner d'autres citations. Celles-ci suffisent, pensons-nous, à donner une idée objective de l'intérêt présenté par les méthodes microbiologiques.

Mentionnons ici, en passant, que la méthode *Aspergillus niger* est utilisée, notamment en Hollande, pour la détermination du Cu, du

(9) STARKEY, Robert L. 1951. *Soil Microbiology. Laboratory outlines.*
(10) GONGGRIJP, H. 1938. *Meded. van het algemeen Proefstation der A.V.R.O.S. Archief voor de Rubbercultuur*, 22e jaargang, n° 1, pp. 1-12.
(10bis) NIKLAS, H. et TOURSEL, O. 1940. *Bodenkunde und Pflanzenernährung.* 18(63) Band, Heft 1-2, pp. 79-107.

Mg et du Mo, dans le sol (E. G. MULDER) (11). En Belgique, on utilise *A. niger* pour la détermination du Cu, dans les sols forestiers de Campine (12).

La méthode « *Aspergillus niger* » a donc fait et continue à faire l'objet d'un nombre imposant de travaux.

Il est intéressant de noter ici que, depuis Raulin, *A. niger* fut utilisé au cours de recherches comparables à celles que l'on effectue actuellement sur des plantes supérieures.

Pour *A. niger*, on a établi, par exemple, le « coefficient d'utilité spécifique » pour les divers éléments biogènes. Puis, cette notion a été modifiée en tenant compte de la composition même de la moisissure, assez constante pendant la phase linéaire de croissance (« coefficient Javillier »). Enfin, on a envisagé l'influence d'un élément en fonction de la concentration en d'autres éléments (par exemple, interdépendance de P et Mg, de K et Mg, etc.). Javillier emploie l'expression « rapports physiologiques ». Nous poursuivons actuellement des recherches dans ce domaine. Ceci est en concordance avec les tendances actuelles de la physiologie végétale.

L'application à *A. niger* de la formule classique de Mitscherlich a donné lieu à de très intéressants développements.

Bref, ceci montre une fois encore que la méthode microbiologique constitue un « pont » entre les méthodes chimiques d'analyse du sol, et les méthodes physiologiques utilisant les végétaux supérieurs.

Bref, sans accorder une foi aveugle aux assertions de ceux qui prônent la méthode microbiologique, les indications, bibliographiques et autres, que nous possédions, nous ont incités à reprendre d'une façon extensive, l'étude de cette méthode, dans son application aux sols belges.

La question se présente comme suit : tel laboratoire préconise une méthode donnée, purement chimique, par exemple. Si l'analyse des mêmes échantillons de sol, par une autre méthode, en l'occurrence la méthode microbiologique, donne des résultats divergents, il faut essayer de voir laquelle est la meilleure, ou la moins mauvaise. Ce sont précisément les divergences éventuelles qui sont intéressantes à considérer. Un seul test permettrait de trancher la question : le comportement de la plante cultivée. C'est là, évidemment, que réside la difficulté expérimentale majeure.

Il est bon de rappeler la complexité que présente l'étude du sol agricole et de sa fertilisation rationnelle. Car, outre la composition chimique, les facteurs pédologiques proprement dits interviennent : nature du sol, sa structure, son état granulométrique, sa teneur en complexes sorbants, en humus, sa réaction, etc.

(11) MULDER, E. G. 1948. *Anal. Chim. Acta*, 2, pp. 793-8. *Alti del VI Cong. Int. Microb.* 6, XVIII, p. 293-313.

(12) SIMONART, P. et HUYGH, A. 1952. *Publications du « Centrum voor Bosbiologie in de Limburgse Kempen »*.

Nous aurons du reste l'occasion de voir, dans des cas déterminés, l'influence de la nature du sol sur les résultats comparés donnés par les méthodes chimique et microbiologique.

Forcés, matériellement, de limiter notre travail, nous avons décidé d'étudier spécialement la méthode « *Aspergillus niger* », méthode jouissant d'une préférence marquée.

Rappelons rapidement le principe de cette méthode : on cultive l'organisme « test » dans un milieu de culture liquide complet, sauf en l'élément X à doser, lequel est apporté par un échantillon, de poids donné, de la terre à analyser. On a déterminé préalablement la courbe de développement de l'organisme « test » en fonction de doses croissantes de cet élément X. On peut ainsi définir à quelle quantité de l'élément X (toutes autres conditions étant égales) correspond le poids de mycelium récolté en présence de terre. Il est aisé alors de calculer, par exemple, la teneur du sol en l'élément X, teneur exprimée par exemple en mg/100 g de sol.

Tenant compte du poids de mycelium récolté, dans des conditions déterminées, et, éventuellement, sur la base d'essais de « microfumure », on fixe, de façon assez conventionnelle, la richesse du sol en l'élément ou les éléments considérés.

On trouve, par exemple, dans la littérature, 3 ou 4 degrés de « Nährstoffversorgung » ou de « level of deficiency ».

Quant à nous, devant les difficultés ou incertitudes que présente encore l'interprétation agronomique des résultats analytiques concernant le sol, et leur incidence sur les « conseils de fumure », nous nous bornerons à ne donner que les chiffres traduisant la teneur du sol en éléments (ici K et P) « assimilables par *A. niger* » dans les conditions de nos essais. Maintes fois, ces chiffres seront mis en parallèle avec les indications données par l'analyse purement chimique, selon une ou des méthodes actuellement en usage.

*
**

RECHERCHES PRELIMINAIRES

Une première difficulté réside dans l'élaboration d'un milieu nutritif *équilibré*, tel que l'échantillon de sol ne traduise son action que vis-à-vis du seul élément à doser. On peut admettre en principe que chaque échantillon de terre forme avec la solution nutritive de base un biotope distinct, dont l'effet favorable ou défavorable à la croissance d'*A. niger* peut ne pas être limité à l'élément à doser. C'est ainsi, notons-le immédiatement, que l'on fut amené à ajouter au milieu des matières humiques, ainsi que du Ca.

Voici quelques formules de milieux utilisés :

Milieu de NIKLAS (12bis)		Milieu de GERRETSEN (7)	
Saccharose : . . .	10 %	Saccharose : . . .	10 %
Acide citrique : . .	1 %	Acide citrique : . .	1 %
(NH4)2SO4 : . . .	0,6 %	Urée :	0,4 %
MgSO4 :	0,03 %	MgSO4 :	0,03 %
Cu :	0,00005 %	Cu (CuSO4) : . .	0,00005 %
Zn :	0,0001 %	Zn (ZnSO4) : . .	0,0002 %
Fe :	0,0001 %	Fe (FeSO4) : . . .	0,0005 %
Peptone :	0,1 %	Mn (MnSO4) : . .	0,0001 %
		Citrate de Ca : . .	1,06 %
		« Acide humique » :	0,017 %

Pour ces deux milieux, les quantités de P et de K à ajouter sont respectivement : 0,02 % de K2O (sous forme de K2SO4) pour le dosage de P ; 0,075 % de P_2O_5 (sous forme de NH4H2PO4) pour le dosage de K.

Voici le milieu de NIKLAS, tel qu'il a été modifié par MEHLICH (12ter) :

Saccharose :	100,0 g
Acide citrique :	10,0 g
(NH4)2SO4 :	6,0 g
Peptone :	1,0 g
MgSO4.7 H2O :	0,614
CuSO4.5 H2O :	0,0059 (0,0015 g Cu)
ZnSO4.7 H2O :	0,0044 (0,001 g Zn)
FeSO4.7 H2O :	0.005 g (0,001 g Fe)
Eau distillée :	1.000 ml.
CaHPO4.2H2O :	0,720 } *ou* 0,317 g de KCl
NH4H2 PO4 :	1,215 }

VAN MAERCKE conseille l'usage de citrate di-sodique, et d'urée (7).

SEKERA préconise l'addition au milieu de 2 % de tannin.

Ces milieux diffèrent donc, notamment :

— par la présence de peptone
— par la présence de Ca
— par la forme sous laquelle se trouve l'azote
— par la présence ou l'absence de composés humiques.

Varient également : le volume de milieu utilisé
le poids de l'échantillon de terre ajouté
la t° d'incubation et sa durée.

(12bis) NIKLAS, H. *et al.* 1930. *Die Ernährung der Pflanze*, XXVI, 5, pp. 97-103.
(12ter) MEHLICH, A. 1933. *Soil Sci.* 35, 259-278.

Chacun des milieux employés présente ses avantages et ses inconvénients. En ce qui nous concerne, et tenant compte des souches fongiques dont nous disposions, nous avons procédé à une série d'essais préliminaires, qui nous ont permis de mettre au point les conditions techniques de nos essais. Nous allons résumer ces derniers.

Choix d'une souche d'*A. niger*

Les critères pris en considération furent :

a) le poids du mycelium obtenu en un temps donné ;
b) le coefficient de variabilité biologique ;
c) l'augmentation progressive de poids sous l'influence d'apports gradués de K et de P.

Nous avons, en fait, comparé 8 souches, d'origines diverses, cultivées dans différentes conditions. Deux souches, indexées A 10 et A 505, furent retenues, d'abord. Puis notre choix se porta définitivement sur la souche A 10. Nous ne pouvons songer à relater ici le détail des essais.

Bornons-nous à donner ici, à titre d'exemple, deux graphiques montrant l'influence, sur la souche A 10, en milieu de NIKLAS, de doses graduées de P et de K. (Graphiques 1 et 1bis).

Pour des doses données de K ou de P, et pour des séries de 4 répétitions, les *écarts de la moyenne ne dépassaient pas 2 %* du poids moyen du mycelium. Ce qui est très satisfaisant.

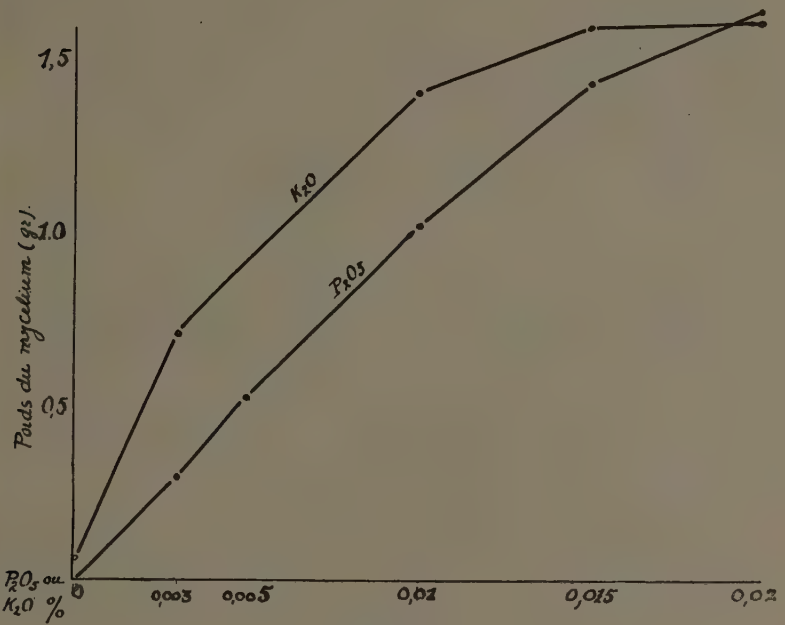
Nous aurions pu, vraisemblablement, en multipliant les essais, trouver une souche supérieure à A 10. D'autre part, les milieux utilisés et les conditions techniques (durée, t°, etc.) seront précisés par la suite.

Mais ce qui importait, c'était de disposer de suite d'une souche présentant un minimum de qualités, devant servir ultérieurement à des dosages de valeur surtout *comparative*. Insistons sur ce dernier point.

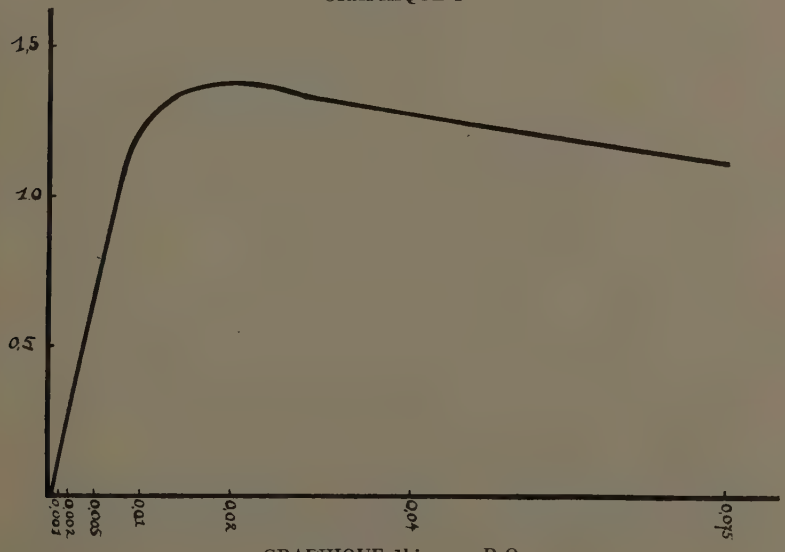
Composition du milieu de culture

Pour notre souche A 10, nous avons étudié successivement :

a) l'influence de doses croissantes de K et de P sur milieu de NIKLAS, d'une part, de GERRETSEN, d'autre part ;
b) le remplacement de (NH4)2 SO4 par l'urée ;
c) l'influence de la peptone ;
d) l'influence de proportions relatives variables de K et de P ;
e) l'influence de la nature de la source hydrocarbonée (glucose, saccharose, sucre raffiné) ;
g) l'influence des composés humiques ;
g) l'influence de l'ion Ca, sous diverses formes.



GRAPHIQUE 1



GRAPHIQUE 1bis — P_2O_5

Certains essais se firent en présence de terre.

Finalement, nous avons adopté le milieu suivant :

Saccharose (sucre raffiné) : .	10 %
Acide citrique :	1 %
(NH4)2SO4 :	0,6 %
MgSO4 7 aq. :	0,03 %
Cu :	0,00005 %
Mn :	0,0001 %
Zn :	0,0002 %
Fe :	0,0005 %
Citrate de Ca :	1,25 g pour 62 cc de milieu
Humate de Na :	10 mg pour 62 cc de milieu
Pour le dosage de P :	0,02 % de K_2O (K_2SO_4)*
Pour le dosage de K :	0,075 % de P_2O_5 ($NH_4H_2PO_4$)*.

La solution d'humate était préparée selon GERRETSEN (13).

Remarquons que, comme GERRETSEN, nous avons éliminé la peptone utilisée par NIKLAS et MEHLICH, entre autres.

Le pH initial du milieu est de 3,3 à 3,5.

Le pH final oscille entre 2,7 et 3.

PRECISIONS TECHNIQUES

Le milieu de culture suivant est préparé :

12,4 % de sucre
1,24 % d'acide citrique
0,6 % de sulfate ammonique.

A ce milieu on ajoute alors 10 ml/litre des solutions suivantes :

CuSO4 5 aq :	19,6 mg/100 ml
FeSO4 7 aq :	248,8 mg/100 ml
ZnSO4 7 aq :	88,3 mg/100 ml
MnSO4 4 aq :	40,7 mg/100 ml
MgSO4 7 aq :	3 g/100 ml.

Pour le dosage de P, on ajoute par litre de milieu, 0,458 g de K_2SO_4

Pour le dosage de K, on ajoute par litre de milieu, 1,545 g de $NH_4H_2PO_4$

Ces quantités sont calculées de manière à réaliser dans le milieu les concentrations indiquées de P_2O_5 (0,075 %) et de K_2O (0,02 %)

(13) GERRETSEN, F. C. 1948. *Ann. Chim. Acta*, 2. p. 782.
Voir aussi, pour l'influence de l'humus sur la croissance d'*Aspergillus niger* : R. CHAMINADE, 1955. *Ann. Agron.* Série A, III, pp. 363-371).

(*) Ces doses ne sont pas nécessairement les doses optimales, celles-ci dépendent du reste des équilibres ioniques des milieux. La chose n'a pas ici d'importance pratique notable, vu l'emploi de « séries comparatives ».

et tiennent compte du volume de 62 ml de milieu par erlenmeyer dont il est question plus loin.

Ce milieu ainsi obtenu est alors réparti en erlenmeyers de 300 à raison de 50 ml par récipient. On ajoute alors par erlenmeyer :

1,25 g de citrate de calcium

1 ml d'une solution d'humate de Na correspondant à 10 mg de produit.

CONSTITUTION DES « SERIES COMPARATIVES »

Pour la recherche de P, elles contiennent les pourcentages suivants de P_2O_5 calculés sur la base d'un volume final de 62 ml par erlenmeyer :

0 0,005 0,01 0,02 0,03 0,04 0,06 0,08 % P2O5

Pour la recherche de K, elles contiennent les pourcentages suivants de K_2O, également calculés pour un volume de 62 ml :

0 0,002 0,004 0,006 0,008 0,01 0,015 0,02 % de K2O.

Ces doses sont additionnées sous forme de solutions de K2SO4 et de NH4H2PO4 en quantités croissantes. En vue de respecter l'uniformité des conditions, la quantité de solution de P_2O_5 ou de K_2O ajoutée au milieu sera toujours complétée par de l'eau distillée à un volume de 10 ml.

Chaque erlenmeyer de la série comparative contiendra donc :

— 50 ml de milieu
— 1,25 g de citrate de calcium
— 1 ml d'humus
— x ml de solution de P2O5 ou de K2O
— (10 — x) ml d'eau distillée.

L'ensemencement se faisant à l'aide de 1 ml de suspension dense de spores, nous aurons donc un volume total de 62 ml par erlenmeyer.

CONSTITUTION DES « SERIES DE DOSAGE »

Les erlenmeyers de cette série contiennent :

— 50 ml de milieu
— 1,25 g de citrate de calcium
— 1 ml d'humus
— 2,5 g de terre à doser
— 10 ml d'eau distillée destinée à compléter au même volume que dans la série comparative soit 62 ml.

La reproduction des tableaux et diagrammes établis lors de la mise au point du milieu ne présente pas d'intérêt majeur ici. Nous ne

reproduirons qu'un seul tableau se rapportant à l'étude de la source carbonée. Chaque essai ayant subi 3 répétitions, on pourra se rendre compte du peu d'importance des écarts. (Voir tableau pages 155-156).

Précisions techniques diverses

La composition du milieu étant établie, nous avons étudié, pour notre souche A 10, divers points de nature technique :

I — T° ET DUREES OPTIMALES DE CULTURE

A la suite d'une série d'essais, nous nous sommes arrêtés à la t° de 28 °C pendant 6 jours. C'est dans ces conditions que nous obtenions les résultats les plus constants pour les mêmes compositions du milieu. Après 6 jours, le danger d'autolyse existe.

Les auteurs qui utilisent la température de 35° indiquent des durées plus courtes de culture : 5 jours (NIKLAS), 2 à 3 jours (SEKERA, 4 ½ jours (MEHLICH).

Rappelons que nos observations valent pour la souche utilisée A 10.

***

La composition du milieu, la t° et la durée des cultures étant déterminées, nous avons envisagé divers autres aspects techniques :

Méthode d'ensemencement : deux procédés furent expérimentés, à savoir :

1) l'ensemencement direct des spores dans les erlenmeyers d'analyse ;
2) l'ensemencement au moyen d'une suspension de spores préalablement préparée. Cette dernière technique aura nos préférences, en raison de la constance plus grande des résultats obtenus.

Préparation de la culture « stock » : la souche utilisée d'*A. niger* fut entretenue sur milieu ordinaire de Czapeck, avec, périodiquement, un passage sur moelle de sureau.

Pour les analyses, on utilise couramment une culture de 6 jours.

Récolte et pesée du mycelium : le mycelium est prélevé au moyen d'une pince à dissection ordinaire, et placé sur un papier filtre, dans un entonnoir. Il est utile, dans certains cas, de laver plusieurs fois le mycelium, à l'intérieur même de l'erlenmeyer, afin de détacher les particules de terre qui auraient pu adhérer.

Dans l'entonnoir, le mycelium est lavé 4 fois à l'eau distillée, séché à 80°, pendant 14 à 16 heures, et pesé, après un séjour à l'air libre, de deux heures, dans la salle de pesée. Il eût été théoriquement

Influence de la source de C sur le développement d'A. NIGER (poids du mycelium, en g)

P_2O_5 %	0	0.0015	0 003	0.005	0.0075	0.01	0.012	0.015	0.017	0.02
Glucose	—	0.1726	0.3091	0.5664	0.7826	0.9813	1.3083	1.4670	1.5962	1.6610
		0.1620	0.3075	0.5518	0.7500	1.0392	1.2746	1.4588	1.5647	1.6520
		0.1786	0.3164	0.5172	0.8010	1.0398	1.2653	1.4618	1.5786	1.6146
Moyenne		0.17	0.31	0.54	0.78	1.02	1.28	1.46	1.58	1.64
Saccharose		0.1984	0.3146	0.5310	0.7846	1.0427	1.2692	1.4124	1.5930	1.6126
		0.1928	0.2719	0.5617	0.7877	1.0449	1.2618	1.4610	1.5977	1.6863
		0.1615	0.3182	0.5004	0.8433	1.0388	1.3106	1.4792	1.5800	1.6826
Moyenne	0	0.18	0.30	0.53	0.80	1.04	1.28	1.45	1.59	1.66
Sucre raffiné		0.1788	0.2710	0.5496	0.7828	1.0140	1.2930	1.4600	1.5039	1.6120
		0.1860	0.3364	0.5088	0.7892	0.9929	1.2947	1.4826	1.5874	1.6187
		0.2376	0.3724	0.5710	0.7902	1.0255	1.2271	1.4807	1.5955	1.6311
Moyenne	0	0.20	0.32	0.54	0.78	1.01	1.27	1.47	1.56	1.62

K_2O %	0	0.0015	0.003	0.005	0.0075	0.01	0.012	0.015	0.017	0.02
	0.0618	0.4527	0.7232	0.9955	1.2774	1.4018	1.5610	1.6030	1.6662	1.6937
Saccharose	0.0640	0.4610	0.7429	0.9817	1.2728	1.3989	1.5637	1.6349	1.6724	1.6310
	0.0571	0.4804	0.6988	0.9263	1.2561	1.4705	1.5700	1.6390	1.6204	1.5991
Moyenne	0.06	0.46	0.72	0.96	1.26	1.42	1.56	1.62	1.65	1.63
	0.1832	0.6126	0.9242	1.1866	1.3776	1.5525	1.6881	1.7998	1.8455	1.9618
Glucose	0.1912	0.6191	0.9292	1.1634	1.3927	1.5926	1.6628	1.7610	1.8462	1.8913
	0.1697	0.5785	0.9164	1.2072	1.4460	1.6362	1.6240	1.7531	1.8308	1.8565
Moyenne	0.18	0.60	0.92	1.18	1.40	1.55	1.65	1.77	1.84	1.90
	0.1900	0.5890	0.8610	1.1540	1.4200	1.5930	1.6839	1.7961	1.8910	1.8820
Sucre raffiné	0.1827	0.5963	0.8961	1.1606	1.4302	1.5936	1.6680	1.7840	1.8227	1.8955
	0.1982	0.5747	0.8330	1.1417	1.4310	1.6185	1.7020	1.7816	1.8692	1.9361
Moyenne	0.19	0.58	0.86	1.15	1.42	1.60	1.68	1.78	1.86	1.90

préférable de peser en conserves tarées, mais celà eût immobilisé trop de matériel, sans avantage notable, les essais ayant essentiellement une valeur comparative.

Certains auteurs conseillent de fixer préalablement les spores à l'alcool ou au formol. Nous avons supprimé cette manipulation, après avoir constaté que le poids des spores est négligeable, vis-à-vis de la masse de mycélium.

***

Etude des facteurs « agitation » et « capacité des erlenmeyers ».

Certains auteurs préconisant l'agitation intermittente, il nous a paru intéressant de déterminer l'influence de celle-ci sur la croissance de notre souche A 10, et sur le poids du mycélium récolté.

Cet essai a été fait, d'une part, sur milieu synthétique seul, d'autre part, en présence de terre. Il ne s'agissait pas, bien entendu, d'une agitation continue, mais d'une agitation de 5', trois fois par jour.

L'agitation, dans les conditions indiquées, ne présente aucun avantage, ni sur le développement du mycélium, ni sur la précision des répétitions. Les cultures ne seront donc pas agitées. Cependant, pour pallier aux irrégularités de t° que pourraient présenter les étuves en usage dans notre laboratoire, les erlenmeyers seront, chaque jour, changés de place.

Influence de la capacité de l'erlenmeyer. A la suite de divers essais utilisant des erlenmeyers de capacités différentes, le volume du milieu restant constant, nous nous sommes arrêtés au volume de 300 ml pour 62 ml de milieu. Passons, ici encore, sur les détails expérimentaux.

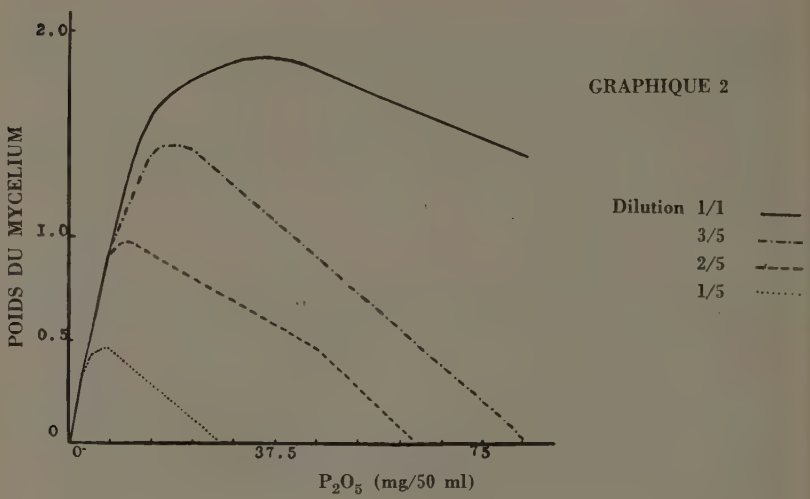
***

Nous avons étudié l'influence de la *concentration relative* du milieu. Nous donnons, à titre de simple information, des courbes obtenues en utilisant (le volume total étant ici toujours égal à 50 ml), des dilutions du milieu primitif égales à 1/5, 2/5, 3/5 et 1, et en additionnant, dans chaque cas, des doses croissantes de P_2O_5 ; correspondant, respectivement, à 0 — 0,005 — 0,01 — 0,020 — 0,075 et 0,150 %. (Graphique 2).

Poids de la prise d'essai

Il importe que, lors d'une analyse de terre, la quantité de K ou de P apportée par l'échantillon tombe dans la « zone de sensibilité » de l'organisme « test », telle qu'elle est établie par l'étude de la croissance d'*A. niger*, en solutions synthétiques, et telle qu'elle sera retrouvée du reste dans les « séries comparatives ».

L'échantillon de terre ne doit pas être trop considérable.



Il faut, d'autre part, que le poids de l'échantillon de terre soit suffisant, afin de limiter autant que possible les erreurs dues aux pesées, à l'hétérogénéité relative des sols soumis à l'analyse, etc.

Il faut, enfin que l'influence de la terre dans le milieu de culture, abstraction faite des éléments à doser (K et P pour nous), soit aussi limitée que possible.

Nous avons donc procédé, pour toute une série de terres, à des dosages portant sur 1,5 — 2,5 — 5 et 10 g de terre, les conditions expérimentales étant celles décrites précédemment.

D'une façon très générale, une prise d'essai de 2,5 g donne des résultats aussi réguliers qu'une prise d'essai de poids supérieur.

Nous adopterons donc 2,5 g, quitte à utiliser une autre quantité dans des cas exceptionnels.

Influence spécifique de la terre

Si nous prenons une terre déterminée, par exemple, une terre très humifère, et que nous opérons le dosage de P, par exemple sur des quantités croissantes : 2, 4, 8, 16 g de terre, nous obtenons des poids de mycélium a, b, c, d, qui convertis en P_2O_5, nous donneront des quantités x, x', x", x"', qui, rapportées à 100 g de sol, seront y, y', y", y"'.

Théoriquement, ces dernières quantités doivent être égales, pour autant, bien entendu, que les doses de P tombent entre les limites de

sensibilité pratique du microorganisme. En d'autres mots, x''' = 2 x'' = 4 x' = 8 x. A moins que le sol n'exerce une influence spécifique, laquelle se manifesterait par des différences systématiques entre x, x', x'' et x''', différences autres que celles indiquées plus haut.

Voici quelques chiffres obtenus au moyen d'échantillons de 3 sols très différents, indexés BDH 6, BDH 40 et BDH 68.

Echantillon	Prise d'essai (g)	Poids du mycélium (moyenne de 4 ess.)	P205 (mg/100 g sol)
BDH 6	0,625	0,22 g	150
	1,25	0,42	152
	2,5	0,79	152
	5	1,22	120
BDH 40	0,625	0,23	152
	1,25	0,42	152
	2,5	0,77	150
	5	1,22	123
BDH 68	0,625	0,18	120
	1,25	0,37	132
	2,5	0,69	132
	5	1,24	120

Il n'y a donc pas, pratiquement, de différences entre les dosages portant sur 1,25 et 2,5 g de terre.

Remarquons ici, chose importante, que notre milieu contient du Ca et des matières humiques. Celà a déjà été mentionné. Nous éliminons ainsi dans une large mesure tout au moins, les anomalies qui pourraient être dues à ces facteurs, dans le sol.

Nous avons effectué, dans ce domaine, d'autres essais encore. Par exemple, nous avons ajouté à divers échantillons de sol, une quantité connue de P, sous forme de NaH2PO4. Et nous avons vu, dans quelle mesure on retrouve au moyen d'*A. niger*, cette quantité ajoutée. Ici encore, nous avons remarqué que l'influence spécifique de la terre était, dans les conditions de nos essais, et pour les terres étudiées, négligeable. Nous ne notons, bien entendu, que le poids du mycelium, après 6 jours de culture, abstraction faite de la courbe de développement.

***

Nous avons enfin effectué des dosages portant d'une part, sur des échantillons de teneurs très diverses en P, et d'autre part, sur des mélanges, en proportions égales, de terres riches et de terres pauvres.

Ce dernier dosage donnait, de façon satisfaisante, la moyenne des résultats obtenus sur les terres analysées isolément.

Voici quelques chiffres :

N° des échantillons	*mg/P2O5/100 g*
50	30
68	132
50 + 68	74
6	152
22	20
6 + 22	78
13	86
58	102
13 + 58	83

Pour ces trois essais, la moyenne obtenue est un peu inférieure à la moyenne théorique. Constatons le fait, en faisant remarquer que le petit nombre d'essais effectués ici ne permettait guère une étude statistique.

En résumé, nous avons donc estimé notre méthode microbiologique suffisamment au point que pour passer à des dosages réels.

DEUXIEME PARTIE

ANALYSES DE SOLS DIVERS

A) Analyses combinées avec des essais de « microfumure »

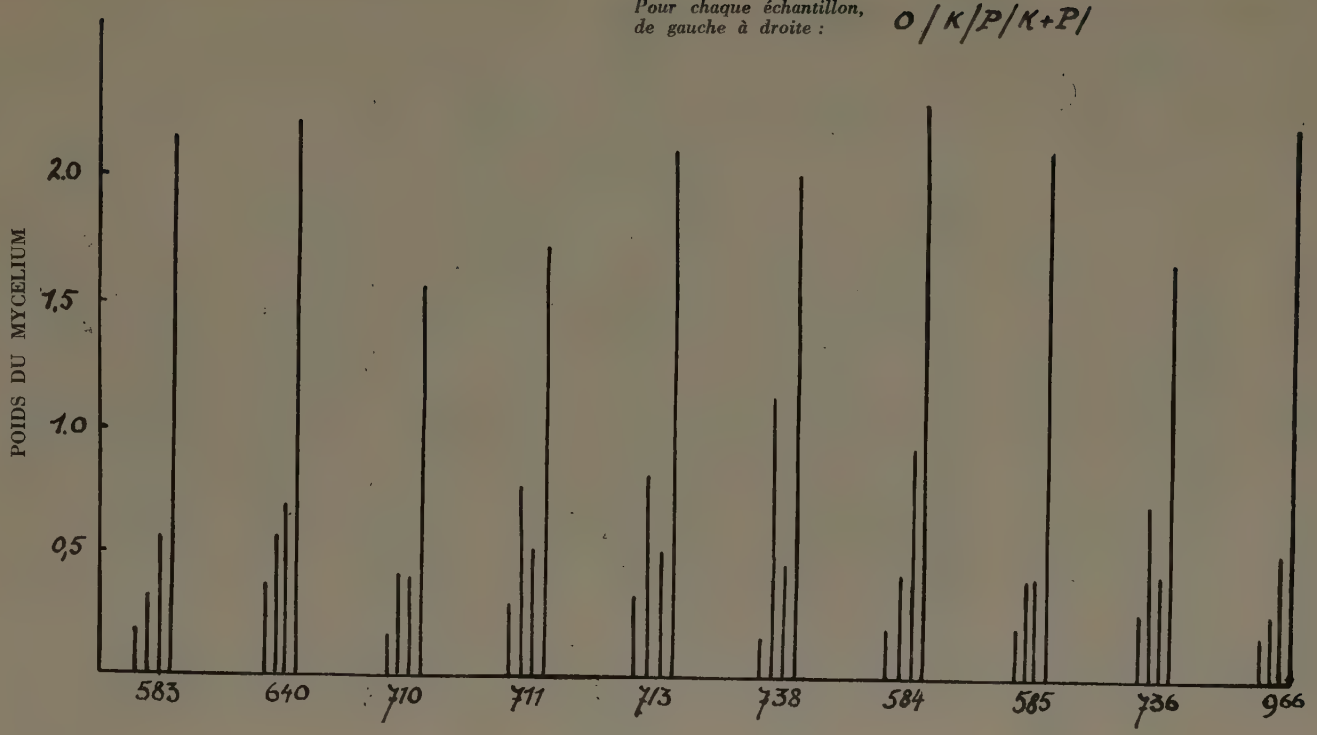
20 terres ont été analysées, provenant, soit de parcelles d'expérience de Gembloux, soit de parcelles expérimentales de Flandre (Prof. Van den Hende).

Nous nous bornerons à reproduire ici le graphique intéressant 10 de ces terres, prises au hasard.

Pour chaque terre, nous donnons donc le résultat du dosage de la terre seule, puis l'influence de l'addition de K20 (0,02 %), de P2O5 (0,075 %), et enfin de K20 + P2O5, dans les proportions indiquées ci-dessus.

Remarquons que la « série comparative » a donné des résultats inférieurs à ceux que l'on obtient en présence de terre. Les doses de K et de P étant optimales (dans l'essai de microfumure K + P), la terre a exercé une influence spécifique. Pour cet essai, nous avions utilisé un milieu *sans humus*. Des dosages d'humus ont montré que, indépendamment des sels minéraux, les terres les plus humifères donnaient les poids de mycélium les plus élevés.

C'est à la suite d'expériences de ce genre que nous avons été amenés à additionner nos milieux d'humate de Na.


Pour chaque échantillon, de gauche à droite : O / K / P / K+P /
POIDS DU MYCELIUM
2.0
1,5
1.0
0,5
583
640
710
711
713
738
584
585
736
966
Echantillons

GRAPHIQUE 3

Néanmoins, l'examen du graphique ci-après montre comment réagit *A. niger* lors d'un essai de microfumure.

La déficience relative en K des terres 711, 713, 736 et 738 est nettement marquée. Il en est de même pour P, de la terre 584, par exemple.

Pour cet essai spécial, nous n'avons pas comparé la méthode microbiologique avec la méthode chimique. L'essai de microfumure seul nous intéressait ici.

*
**

Un autre essai de microfumure, combinant différentes doses de P et de K, a donné, pour une terre déterminée, pauvre en ces deux éléments les résultats traduits par le graphique 4, page 163.

D'autres essais encore ont été effectués. Ce que nous en avons relaté est suffisant pour montrer les possibilités de la méthode *A. niger*, en ce qui concerne l'étude de la « microfumure ». La méthode *A. niger* constitue du reste, dans une certaine mesure, un « micro-Neubauer ».

B) Assimilation des composés organiques du P par *A. niger*

Lors de l'analyse de certaines terres riches en matières organiques, nous avons constaté des résultats supérieurs, pour P, à ce que l'analyse chimique par la méthode d'Egner permettait de prévoir. Ceci, indépendamment des conditions d'extraction différentes du P « assimilable », et dont il sera question plus loin.

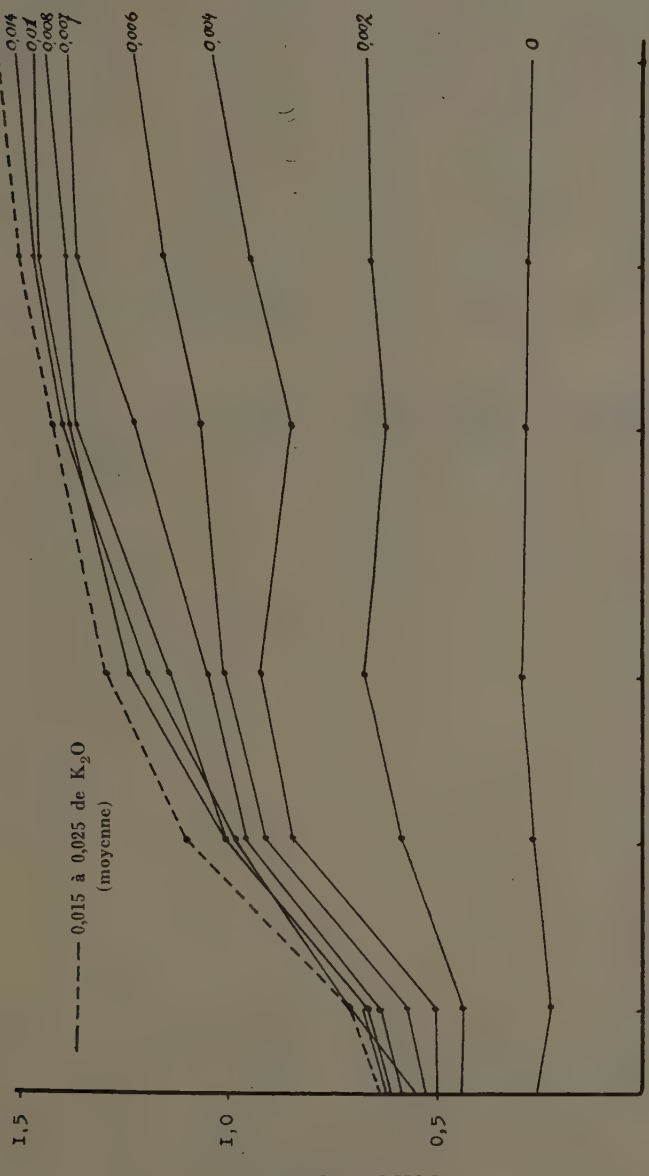
Nous nous sommes demandés si la forme organique sous laquelle se trouve une proportion appréciable du P d'un sol humifère, ne pourrait expliquer ces différences. On sait en effet que, dans certains cas, près de 50 % du P du sol peut se trouver sous forme organique (14).

Ce point mérite que nous nous y arrêtions quelque peu. On a pu constater, par exemple, que la couche arable d'un bon sol agricole pouvait contenir de 3 à 6 tonnes de bactéries par Ha, représentant de 450 à 900 kg de matière sèche, soit, pour citer un ordre de grandeur, de 45 à 90 kg de cendres dont 40 à 50 % sont constituées par P_2O_5. Si l'on y ajoute le P constitutif des fungi, des algues, des protozoaires, des racines et des déchets végétaux, on arrive à des chiffres deux ou trois fois plus élevés. Une grande partie de ce P organique est représenté par les nucléoprotéines.

Il nous a paru intéressant de doser le P de l'acide ribonucléique, et par *A. niger* et par la méthode d'Egner.

Technique suivie : Des erlenmeyers. contenant 62 cc du milieu complet décrit à la page 152, ont été additionnés de :

(14) BOWER, G. A. 1949. *Research Bulletin 362*, Ames, Iowa.



GRAPHIQUE 4 — % P_2O_5

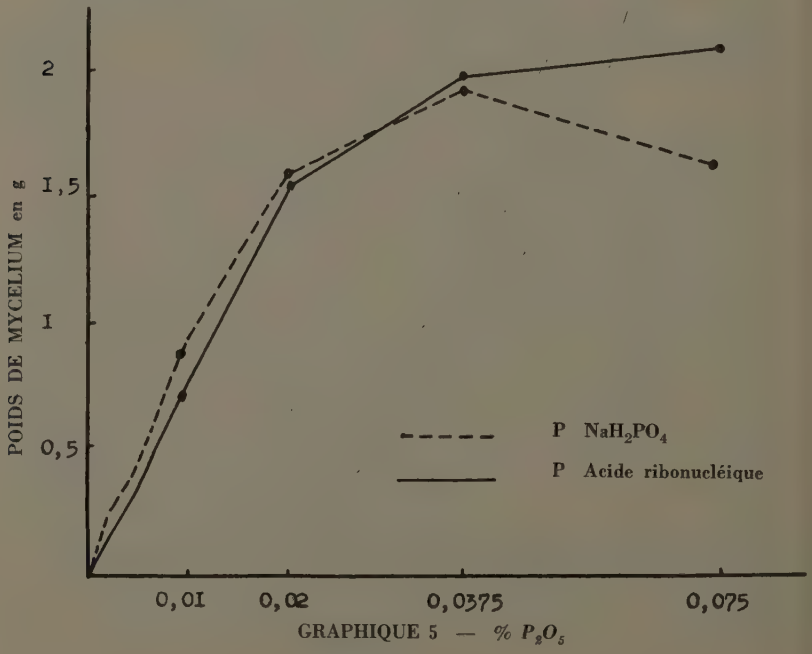
0 — 0,002 — 0,004 — 0,006 — 0,01 — 0,02 — 0,0375 et 0,075 % de P2O5, d'une part, sous forme organique (acide ribonucléique), et d'autre part, sous forme minérale (NaH2PO4).

L'acide ribonucléique utilisé nous a été fourni par la firme N.B.C. Cet acide ribonucléique est soluble dans les alcalis seulement. Lors de l'incorporation au milieu, un léger trouble est apparu, disparaissant d'ailleurs après quelques jours de culture d'*A. niger*.

Voici les résultats du dosage par A. niger.

% P2O5	0	0,002	0,004	0,006	0,01	0,02	0,037	0,075
	0	0,2336	0,3872	0,5610	0,9104	1,56	1,99	1,62
P minéral	0	0,2114	0,4132	0,5262	0,8886	1,57	1,91	1,61
	0	0,1838	0,3800	0,5717	0,9524	1,60	1,85	1,65
	0	0,21	0,39	0,55	0,92	1,58	1,92	1,63
	0	0,1440	0,3642	0,4394	0,7858	1,59	1,94	2,19
P organique	0	0,1486	0,3412	0,4898	0,7916	1,53	1,92	2,12
	0	0,1548	0,3082	0,4922	0,7678	1,56	2,03	2,14
	0	0,15	0,33	0,47	0,78	1,56	1,96	2,15

Le graphique ci-dessous traduit les résultats.



GRAPHIQUE 5 — % P_2O_5

Pratiquement, malgré de légères différences, pour les doses les plus faibles et les doses les plus fortes, les deux formes de P se dosent parfaitement par *A. niger*. A noter cependant, l'action dépressive du P minéral pour la dose la plus forte. (Voir aussi le Graphique 1bis).

Or, par la méthode d'Egner, nous ne retrouvons que 1/20^{me} environ du P de l'acide ribonucléique.

Dans le sol, le P organique étant normalement réminéralisé, c'est-à-dire rendu assimilable pour la plante, il importe donc que l'analyse le décèle quantitativement. C'est ici l'avantage de la méthode *A. niger* sur la méthode d'Egner, au lactate.

C) Analyse d'échantillons de sols divers, par la méthode *A. niger*

Furent analysés :

a) 77 échantillons de sol prélevés en région limoneuse (Perwez) et aux confins de celle-ci et du Condroz (Saint-Georges) ;

Ces échantillons nous furent fournis par le Centre de Cartographie des Sols, à Gembloux.

b) 10 échantillons provenant du plateau schisteux de Saint-Hubert ;

c) 4 échantillons provenant de la région schisteuse de Forges-lez-Chimay ;

d) 7 échantillons provenant de divers points du Luxembourg belge (Ardenne, Gaume) ;

e) 20 échantillons de provenances diverses, fournis par le laboratoire du Prof. Van den Hende, de Gand ;

f) 14 échantillons provenant de la ferme de l'Institut agronomique de Gembloux ;

g) 45 échantillons fournis par le Service pédologique de Louvain. Ces échantillons provenaient des Ardennes, du Pays de Herve, des Flandres.

Au total, 177 dosages de P et un nombre égal de dosages de K furent effectués.

Le but de cet essai était de voir si l'origine ou le type lithologique du sol avaient une influence systématique sur la richesse en K et P, étant admis que, *grosso modo*, les fumures minérales appliquées au cours de la dernière décade, par exemple, étaient du même ordre, tout au moins pour les terres indexées a), e), f) et g). Cette hypothèse ne vaut, bien entendu, que pour l'ensemble des terres considérées.

Pour les terres du lot a), les échantillons étaient accompagnés des renseignements suivants :

Endroit du prélèvement ;
Altitude et topographie du terrain ;
Nature de la culture à l'époque du prélèvement ;
Description du profil ;
Type de profil ;
Profondeur du prélèvement ;
Résultats de l'analyse granulométrique ;
% d'humidité ;
pH (KCl et H2O) ;
Humus ;
Capacité totale de sorption ;
% d'argile.

Les sols se trouvaient, soit sur limon autochtone ;
ou sur limon hétérogène
ou sur substrat ancien, primaire, secondaire ou tertiaire. Chacun de ces types est caractérisé par un certain nombre de données physico-chimiques moyennes, dont les divers échantillons ne s'écartent que très peu.

La description des essais et l'exposé des résultats comportent une trentaine de pages de texte, de tableaux et de graphiques.

Bornons-nous aux conclusions suivantes :

— Pour les sols limoneux, le type de sol ne semble pas avoir d'influence sur les quantités de P et de K indiquées par la méthode microbiologique.
Par exemple, pour les sols de Perwez, considérés parmi les plus riches de Belgique, les quantités de P et de K décelées varient dans la même mesure que pour les autres types ;

— Les sols sablonneux semblent accuser des minima plus bas que les sols limoneux. La chose est normale. (Voir plus loin, l'analyse de sols provenant de Carlsbourg et d'Orval).

— Le % de sable et d'argile ne semble pas avoir d'influence sur la teneur en P ;

— Pour K, la teneur varie assez nettement avec la teneur en argile ;

— Il n'y a pas de corrélation apparente entre les teneurs en P et les teneurs en K ;

— Nous n'avons pas observé de différences notables entre, d'une part, la teneur en P ou K, et d'autre part : le % d'humus, le pH, le coefficient de sorption, l'importance de la partie sableuse. Ceci s'adresse aux sols du groupe a), pour lequels nous disposions des renseignements voulus. Mais, pour les autres sols, les teneurs en K et P fluctuaient dans une mesure comparable.

Nous envisagerons le cas spécial des polders à propos d'une comparaison entre méthode *A. niger* et méthode chimique d'Egner.

Nous n'accordons à ces résultats que la valeur d'une indication. Mais ces analyses méritaient, avons-nous pensé, d'être effectuées.

Nous nous bornerons à reproduire ici un seul tableau, donnant, pour un certain nombre de sols, les résultats de l'analyse granulométrique, et les quantités de P et de K trouvées par la méthode *A. niger*.

N°	Type*	Fraction 0-2μ	Fraction 0-20μ	Fraction plus 50μ	P_2O_5 Asp.	K_2O Asp.
133/17	RKI	4.80	24.56	31.70	63	12
19	R t	4.46	26.55	28.46	62	15
59	AI	7.25	34.65	8.78	19	19
61	MO	5.30	16.50	64.14	34	14
62	MO	9.05	20 28	41.46	30	15
83	Ao	6.76	30.87	4.49	28	15
131/5	C3	4.49	28.17	3.87	31	33
7	AI	1.75	30.80	2.72	57	13
8	CI	2.27	24.12	4.74	53	7
9	AI	1.03	25.68	3.40	32	17
15	AI	1.32	23.89	3.65	36	17
19	Cs2	3.46	30.05	8.14	30	16
25	CI	2.49	30.03	7.39	45	12
49	C2	8.66	25.89	7.25	78	17
55	AfO	4.59	29.24	3.89	88	15
64	Ag3	0.72	41.26	5.05	32	17
					M: 45.3	15.8
133/14	VI	20.55	44.13	9.81	44	13
37	CbI	24.37	46.13	3.50	36	14
38	AI	22.30	41.99	3.24	29	25
44	RMa	32.51	56.61	9.17	32	25
63	RAh	21 34	49 47	22.96	23	24
64	RAa	33.46	48.13	21.17	47	34
131/17	AI	21.60	48.22	2.36	37	16
20	C3	20.46	48.31	9.56	60	14
21	Ao	23.25	45.99	5.47	33	20
40	C3	16.74	41.03	5.03	57	33
50	Cg3	23.55	45.80	2.70	109	14
77	C3	24.49	43.41	6.30	24	38
					M: 44.2	22

Nous avons fait la moyenne des quantités de P2O5 et de K2O des parcelles d'une part à faible fraction et d'autre part à forte fraction de 0 à 2μ. Ces moyennes sont, pour P_2O_5 respectivement 45.3 et 44.2, et pour K_2O, 15.8 et 22.

Nous pouvons donc dire que le % de sable ou d'argile de l'échantillon ne semble pas avoir d'influence sur sa teneur en P_2O_5 dosable

(*) Sigles utilisés par le Centre belge de Cartographie des sols (I.R.S.I.A.)

par *A. niger*. Par exemple, les échantillons 133/17 et 19, à fraction sablonneuse importante, sont parmi les mieux pourvus en P_2O_5 que nous ayons examinés, et si les sols à fraction sableuse importante ont peut-être moins de chance, par leur nature (moins de colloïdes minéraux), de posséder une réserve importante en P_2O_5, ceux qui se montrent le moins pourvus en P_2O_5 le sont au même titre que les moins pourvus des sols à fraction argileuse dominante.

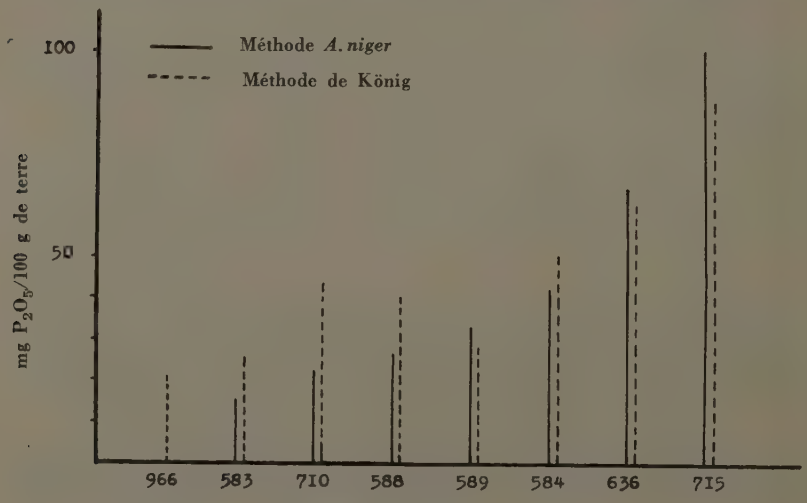
Il semble que le fait, pour un sol donné, d'être bien ou mal pourvu en P_2O_5 « assimilable » n'est donc pas dépendant, nettement tout au moins, de ses caractéristiques granulométriques.

Pour la potasse, au contraire, la teneur du sol en cet élément dosable par *A. niger* est dans une certaine mesure, fonction de sa teneur en argile. Si cela ne signifie pas qu'un sol particulièrement argileux sera nécessairement mieux pourvu en potasse qu'un sol sableux, il reste néanmoins vrai qu'à fumure et façons culturales égales, la quantité de K_2O sera, en moyenne, dans un sol sableux, toujours plus faible que dans un sol limoneux. Par ailleurs la potasse, dans le sol, est plus mobile que le phosphore.

D) Comparaison entre les résultats donnés par diverses méthodes chimiques et la méthode A. niger

Quelques exemples de dosages comparatifs :

a) Méthode de KÖNIG et méthode *A. niger*. Dosage de P (Graphique 6). Rappelons que la méthode de KÖNIG utilise l'acide citrique à 1 %.



GRAPHIQUE 6

b) Méthode de Morgan et méthode *A. niger*. Dosage de P et K. La méthode de Morgan utilise l'acétate de Na tamponné à pH 3,7. (Graphiques 7 et 7bis).

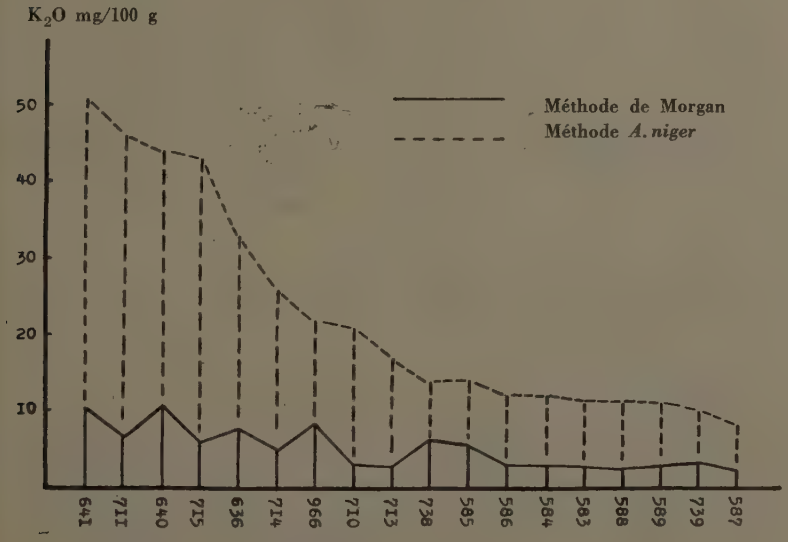
c) Méthode d'Egner et méthode *A. niger*. Dosage de P et K. La méthode d'Egner utilise le lactate de Ca, tamponné à pH 3,7 par HCl. Le dosage par voie chimique n'a pas été effectué par nous. Remarquons que les sols poldériens se comportent assez différemment des autres, pour P. (Graphiques 8 et 9).

d) Tout récemment (septembre 1955) nous avons dosé P par la méthode microbiologique dans une série d'échantillons déjà analysés par le laboratoire du Prof. Van den Hende.

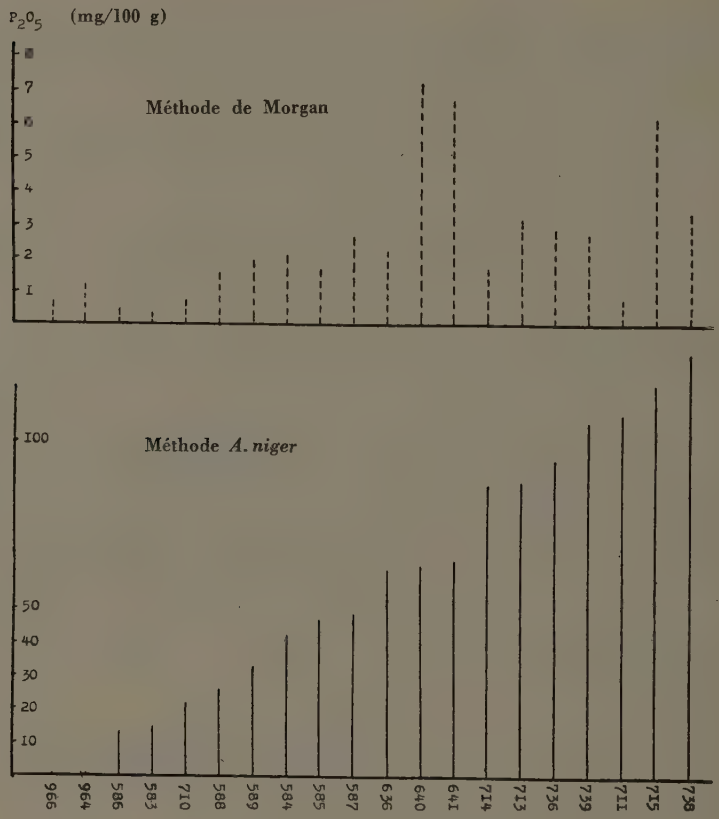
Le graphique 10 traduit les résultats obtenus. Dans ce graphique, les terres ont été classées par valeurs croissantes de la teneur en P, dosé par *A. niger*.

On peut donc se rendre compte 1) des valeurs absolues extrêmement différentes données par les diverses méthodes (pour la clarté du graphique, les chiffres fournis par les méthodes 2 (lactate de Ca) et 5 (acétate d'Am) ont été multipliés par 2) ; 2) des aberrations dans la fluctuation des résultats, donnés par certaines méthodes. C'est le cas, notamment, pour les échantillons indexés, sur notre graphique 3,7 et 9.

A remarquer cependant que, pour les 2 valeurs extrêmes les diverses méthodes donnent des chiffres *relatifs* assez concordants.



GRAPHIQUE 7



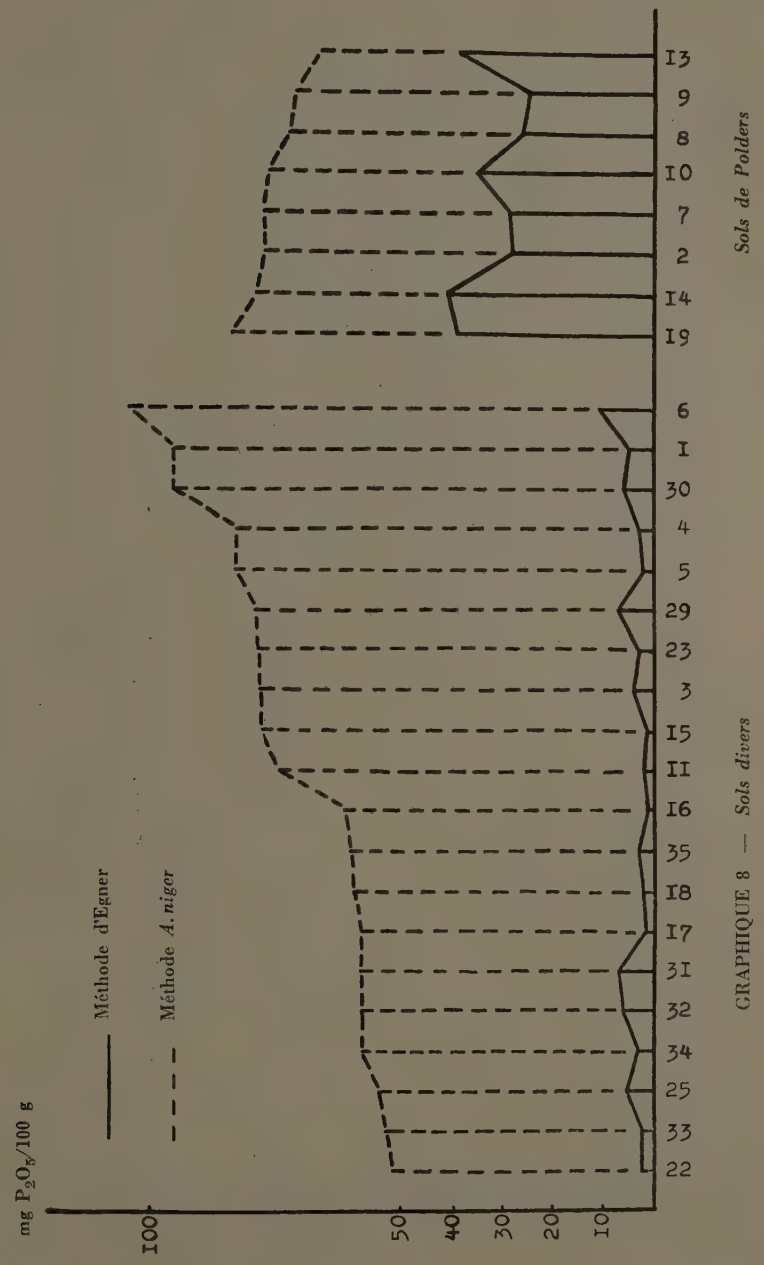
GRAPHIQUE 7bis — *Echantillons*

E) Analyse d'échantillons provenant de parcelles expérimentales

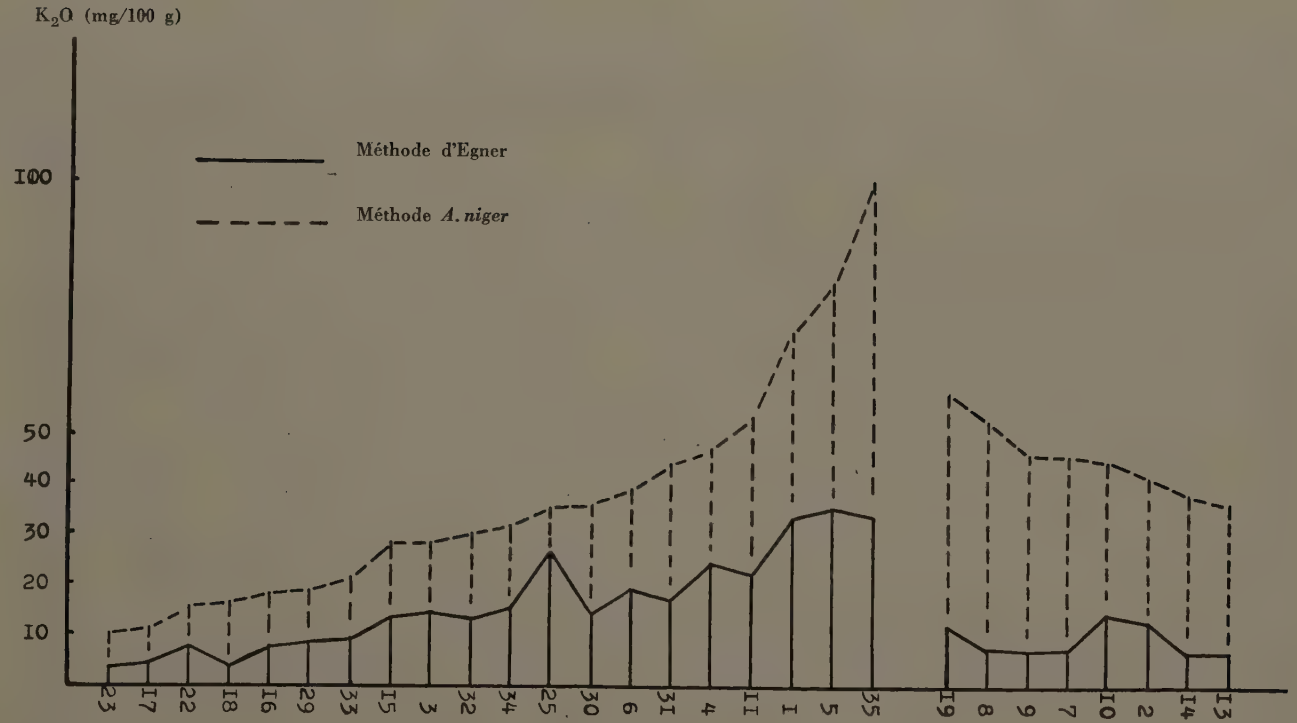
1. PARCELLES D'EXPERIENCES DE CARLSBOURG ET D'ORVAL

Dans le cadre de leurs travaux du Centre d'Etudes et de Recherches sur l'aquiculture, MM. Homès et Anciaux ont expérimenté, en 1953, diverses formules de fumure, avec la pomme de terre comme plante « test ».

Nous avons été aimablement autorisés à prélever un certain nombre d'échantillons de terre dans les champs d'essais situés dans les deux localités citées.

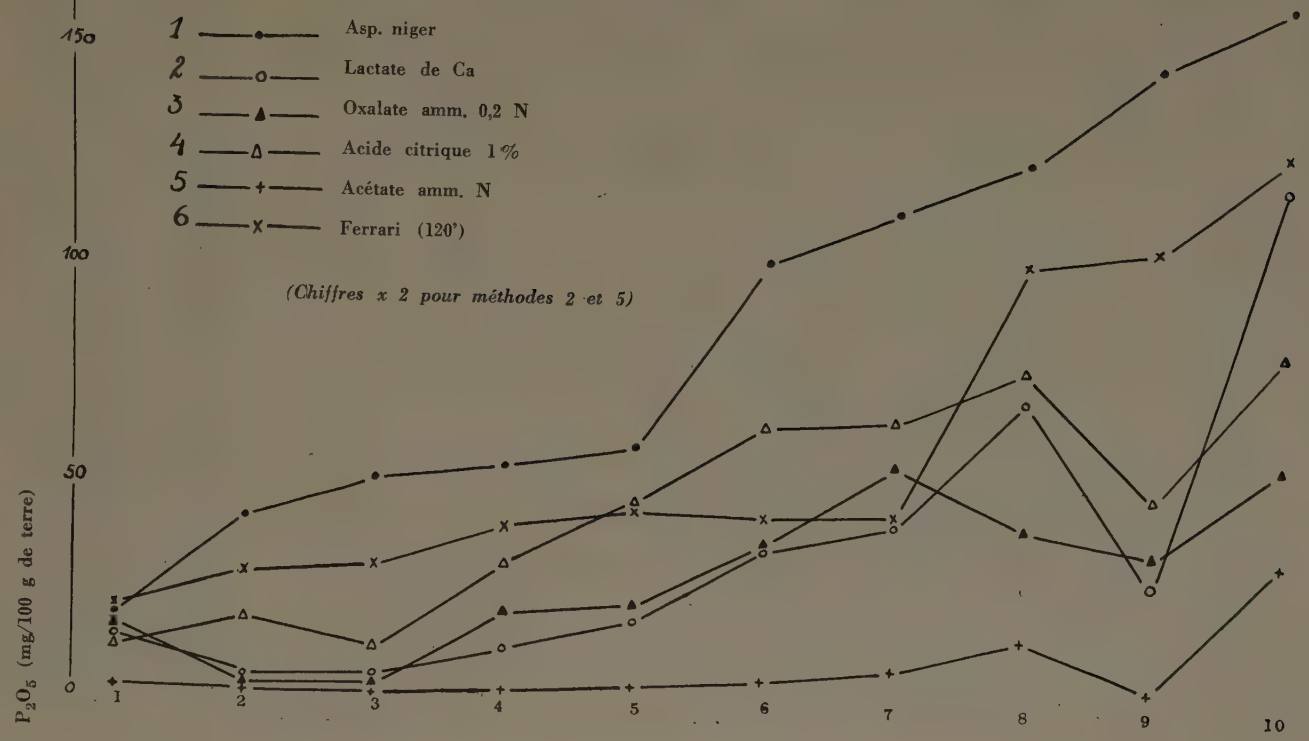


GRAPHIQUE 8 — *Sols divers*



GRAPHIQUE 9 — *Sols divers* *Sols de Polders*

GRAPHIQUE 10 — *Echantillons*



Ces échantillons présentaient pour nous les avantages suivants :

a) les formules exactes des fumures étaient connues ;

b) ces fumures présentaient entre elles des différences systématiquement voulues ;

c) la répétition des essais pouvait permettre des vérifications et des contrôles.

Les mêmes traitements furent du reste appliqués à Carlsbourg et à Orval, ce qui présentait, évidemment, un intérêt de premier plan.

Il ne nous appartient pas de donner ici le plan des essais réalisés par MM. Homès et Anciaux. Disons simplement que dans chacun des traitements, un des ions est dominant par rapport aux autres ; que la somme des anions et des cations est constante ; que la somme des anions égale celle des cations.

Ce qui impliquait 6 traitements, dont 3 à doses constantes de K, Ca, Mg et à dominance respective de NO_3^-, SO_4^- et PO_4^-, et 3 traitements à doses d'anions constantes, et à dominance respective de K, Ca et Mg. En plus, des parcelles « témoins » sans aucun apport d'engrais.

Chaque parcelle (sauf les témoins) a reçu 20 kg d'équivalents-ions par Ha, soient 10 kg d'équivalents-anions et 10 kg d'équivalents cations.

En « unités » par Ha,

les doses de P_2O_5 étaient de 175,2 ; 78,8 et 30,2 ;
les doses de K_2O étaient, respectivement : 349 ; 151 et 60,2.

Le tableau ci-dessous expose la chose :

Traitement	N (unités/Ha)	K_2O (unités/Ha)	P_2O_5 (unités/Ha)
1	103,5	151	30,2
2	18,2	151	30.2
3	18,2	151	*175,2*
4	46,5	*349*	78,8
5	46,5	60,2	78,8
6	46,6	60,2	78,8
7	Témoin sans engrais		

(Nous ne donnons pas ici les chiffres concernant Mg, Ca, SO_4^-).

Nos prélèvements ne purent être effectués que 3 mois environ après l'application des engrais, c'est-à-dire à une période avancée de la végétation, et après que l'influence du sol sur les engrais ait eu le temps de se manifester. Il eût été plus indiqué de prélever les échantillons

de terre un mois, par exemple, après l'apport d'engrais. Néanmoins, celà n'enlève rien à l'intérêt que présente la comparaison entre méthode chimique d'analyse et méthode microbiologique.

A *Carlsbourg*, le champ d'expériences est situé sur schiste gedinnien. Précédent cultural : une ancienne prairie, soigneusement fumée au cours des années précédentes.

Au moment du prélèvement des échantillons (le 24 juillet), les parcelles de pommes de terre accusaient des différences relativement faibles (par comparaison avec les parcelles d'Orval).

16 échantillons moyens furent prélevés, dans 16 parcelles. Chaque échantillon résultait du mélange soigneux de 10 échantillons par parcelle.

L'analyse de K_2O et P_2O_5, par voie chimique (EGNER) et par voie microbiologique, donnè les résultats suivants :

N°	pH	P_2O_5 chim.	P_2O_5 *A. niger*	K_2O chim.	K_2O *A. niger*	Traitement
36	6,3	10,7	92	4,5	8,5	7
12	6,3	13,2	99	4,5	7,5	7
5	6,8	11,7	82	6,3	9,5	7
19	6,65	12,7	84	6,71	8	7
14	6,6	10	93	9	14	1
15	6,15	12,5	115	10,8	19	2
21	6,4	14	110	17,4	25	4
8	6,5	12,5	94	22,4	30	4
37	6.65	12	85	17,5	26	4
41	6,3	14	107	22,2	33	4
13	6,45	7	85	5,4	9,4	5
16	6,6	12	90	5,8	10	6
31	6,4	14	80	8,7	11,5	3
30	6,54	20	112	14,7	19	3
23	6,5	14.5	95	9,3	17,5	3
7	6,5	16,2	105	11,1	16	3

A *Orval*, le champ est situé dans un fond alluvionnaire, sur marne sinémurienne. Le pH est, en général, supérieur à 7,5.

Des différences très significatives se marquent entre parcelles, en fonction du traitement. Cependant, vers l'une de ses extrémités, la végétation est, d'une façon générale, plus vigoureuse qu'à l'autre extrémité. Les parcelles à dominance K sont nettement plus belles que les autres.

34 échantillons furent analysés, correspondant à 34 parcelles. Chacun de ces échantillons moyens provenait du mélange de 10 échantillons.

Le tableau ci-dessous résume les résultats :

N°	pH	P_2O_5 chim.	P_2O_5 *A. niger*	K_2O chim.	K_2O *A. niger*	Traitement
16	6,9	12,5	52	2,7	3,3	7
8	7,7	12,5	52	2,24	3,1	7
3	7,25	12,2	42	4,5	4,5	7
6	7,4	15,7	55	3,9	5,4	2
2	7,4	18,2	59	9,3	16,2	4
11	7,6	8,7	45,5	3,4	6,9	4
5	7,4	12,5	34	2,54	3,0	5
14	7,7	9,5	49	1,92	3,9	3
7	7,3	16,2	44,3	2,1	3,8	3
45	7,7	9,4	50	2,4	1,2	7
40	7,7	4,5	47	3,4	8,0	7
19	7,5	18,7	53	4,6	5,0	7
42	7,8	13,7	50	3,4	5,3	7
35	7,5	10	40	3,4	5,0	1
25	7,7	9,4	40	4,8	6,0	1
22	7,5	20	53	4,8	3,2	1
39	7,8	11,2	63	3,9	8,0	2
32	7,8	6,2	58	2,9	9,7	2
21	7,6	15,6	48	3,4	6,0	2
41	7,7	17,5	69	2,9	5,2	3
38	7,7	18,1	76	6,0	—	3
28	7,8	11,2	53	2,4	5,4	3
20	7,5	15,7	53	2,1	3,2	3
44	7,4	10	46	9,4	9,0	4
34	7,8	6,25	35	5,4	11,0	4
30	7,65	9,4	38	2,5	7,5	4
23	7,9	15,6	43	3,4	7,0	4
46	7,8	10	58	2,9	5,5	5
37	7,6	12,5	53	2,5	5,5	5
24	7,8	13,7	80	2,7	5,4	5
43	7,8	13,7	58	2,7	3,2	6
36	7,8	11,2	69	5,0	10	6
26	7,8	13,7	63	17,7	8,0	6
17	7,7	37,5	46	13,8	5,0	6

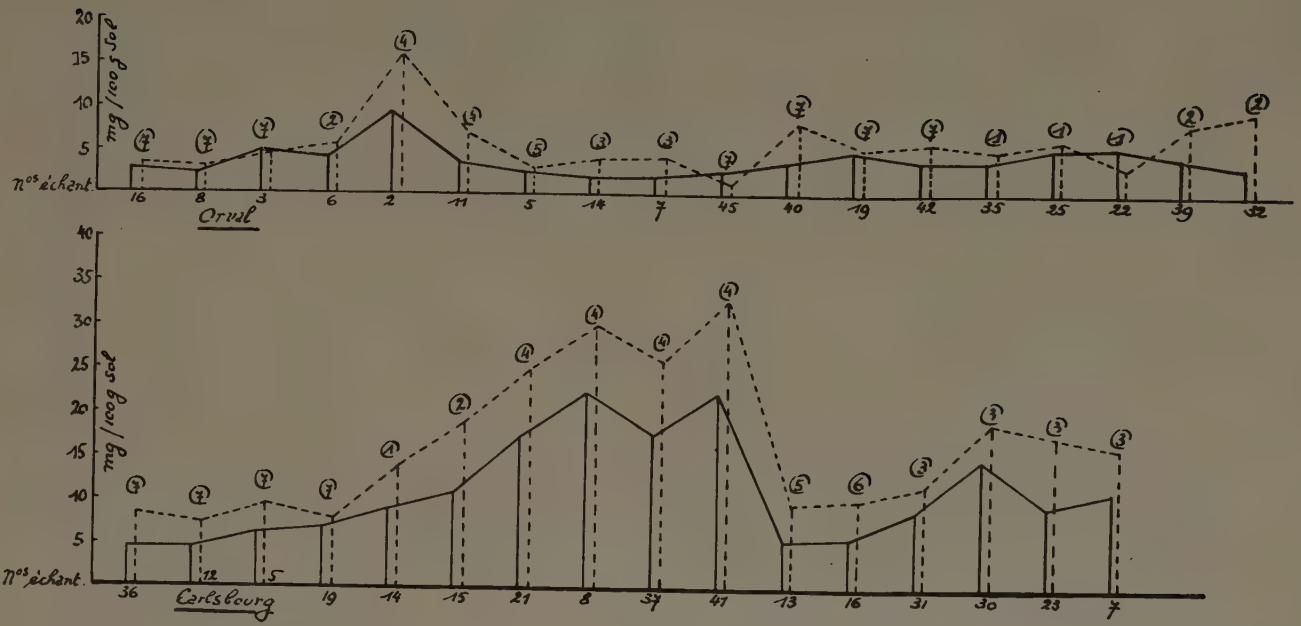
Les deux graphiques 11 et 12 exposent également ces résultats, tant pour Carlsbourg que pour Orval. (Pour Orval, les 18 premiers résultats ont seuls été reportés).

En conclusion, disons que :

a) la méthode *A. niger* donne des résultats nettement plus élevés que la méthode d'Egner, surtout pour P_2O_5 ;

b) les deux méthodes donnent, pour K_2O, des indications assez concordantes ;

c) *Pour P_2O_5, alors que la méthode d'Egner donne des chiffres assez semblables, pour Carlsbourg et Orval, la méthode biologique donne des chiffres beaucoup plus élevés, pour Carlsbourg.*



GRAPHIQUE 11 — K_2O ——— Méthode d'Egner — — — Méthode « Aspergillus » *Les chiffres encerclés indiquent le traitement*

GRAPHIQUE 12 — P_2O_5 (mg/100 g) dans des terres de Carlsbourg et d'Orval

Méthode d'Egner ———— Méthode « *Aspergillus* » — — — — *Les chiffres encerclés indiquent le traitement*

Ce fait est très important, car il indique une différence fondamentale entre la méthode chimique d'Egner et la méthode microbiologique.

Nous ne pouvons émettre que des hypothèses quant à l'explication de ce fait. S'agit-il d'une teneur plus grande des sols de Carlsbourg en P organique (le précédent cultural est une prairie) ? Le pH acide des sols de Carlsbourg est-il en cause ? Constatons simplement la chose.

Il semble, en tous cas, que la méthode microbiologique marque plus de concordance avec les données pédologiques.

d) Pour K_2O, les 2 méthodes reflètent assez bien la dominance K des parcelles à traitement 4, à Carlsbourg surtout ;

e) Pour P_2O_5, il n'y a une certaine influence de la fumure appliquée sur les résultats des dosages tant chimique que microbiologique. Rappelons que le traitement 3 est à dominance P. Notons le nombre peu élevé d'analyses.

*
**

K_2O — Pour Carlsbourg, la méthode microbiologique a donné, pour les 4 parcelles à dominance K analysées, les chiffres suivants (mg/100 g) : 25, 30, 26, 33 : moyenne **28,5.**

Pour les 4 parcelles « témoins », les chiffres furent : 8,5 — 7,5 — 9,5 — 8. Moyenne : **8,4.**

La méthode d'Egner a donné, respectivement :

Pour les mêmes parcelles à dominance K : 17,4 — 22,4 — 17,5 — 22.2. Moyenne : **19,87**

Pour les parcelles « témoins » : 4,5 — 4,5 — 6,3 — 6,7. Moyenne : **5,5**

Pour les parcelles d'Orval, la méthode microbiologique a donné :

6 parcelles à dominance K : 16,2 — 6,9 — 9 — 11 — 7,5 — 7. Moyenne : **9,6**

6 parcelles « témoins » : 3,3 — 3,1 — 4,5 — 1,2 — 8,5. Moyenne : **4,2**

La méthode d'Egner a donné les chiffres suivants :

6 parcelles à dominance K : 9,3 — 3,4 — 9,4 — 5,4 — 2,5 — 3,4. Moyenne : **5,6**

6 parcelles « témoins » : 2,7 — 2,24 — 4,5 — 2,4 — 3,4 — 4,6. Moyenne : **3,30.**

Pour **P_2O_5**. 1) Méthode *A. niger*.

Carlsbourg : 4 parcelles à dominance P : 80 — 112 — 95 — 105. Moyenne : **98**

4 parcelles « témoins » : 92 — 99 — 83. Moyenne : **89**

Orval : 6 parcelles à dominance P : 69 — 78 — 53 — 49 — 44,3. Moyenne : **58,6**

6 parcelles « témoins » : 52 — 52 — 42 — 50 — 47 — 53. Moyenne: **49,3**

2). Méthode d'Egner.

Carlsbourg : 4 parcelles à dominance P : 14 — 20 — 14,5 — 16,2. Moyenne : **16,2**

4 parcelles « témoins » : 10,7 — 13,2 — 11,7 — 12,7. Moyenne : **12,7**

Orval : 6 parcelles à dominance P : 17,5 — 18,1 — 11,2 — 15,7 — 9,5 — 16,2. Moyenne : **14,7**

6 parcelles « témoins » : 12,5 — 12,5 — 12,2 — 9,4 — 4,5 — 18,7. Moyenne : **11,6.**

Notons qu'à Orval, les parcelles situées à une extrémité du champ sont mieux pourvues en P que les parcelles situées au fond du champ, si l'on opère le dosage microbiologique, et moins bien pourvues si l'on fait le dosage chimique, ceci, indépendamment de la fumure phosphatée apportée. Ceci indique l'hétérogénéité du champ, ainsi que l'importance des facteurs pédologiques lorsqu'il s'agit d'apprécier, par l'une ou l'autre méthode la teneur du sol en éléments biogéniques.

Enfin, si nous comparons, pour Carlsbourg et Orval, les chiffres exprimant la récolte en tubercules, et les résultats du dosage de P, nous constatons que les indications données par la méthode microbiologique (richesse beaucoup plus grande en P du sol de Carlsbourg) concordent assez bien avec les observations agronomiques, l'influence de la « dominance P » étant nettement moins marquée à Carlsbourg qu'à Orval.

2. ANALYSE DU SOL DE PARCELLES EXPERIMENTALES DE GEMBLOUX

Il s'agit des parcelles dites « de la loi du minimum » ayant reçu, depuis une quarantaine d'années des fumures minérales diverses, selon le schéma classique O, NP, NK, PK, NPK, avec, dans certains cas, adjonction de Ca.

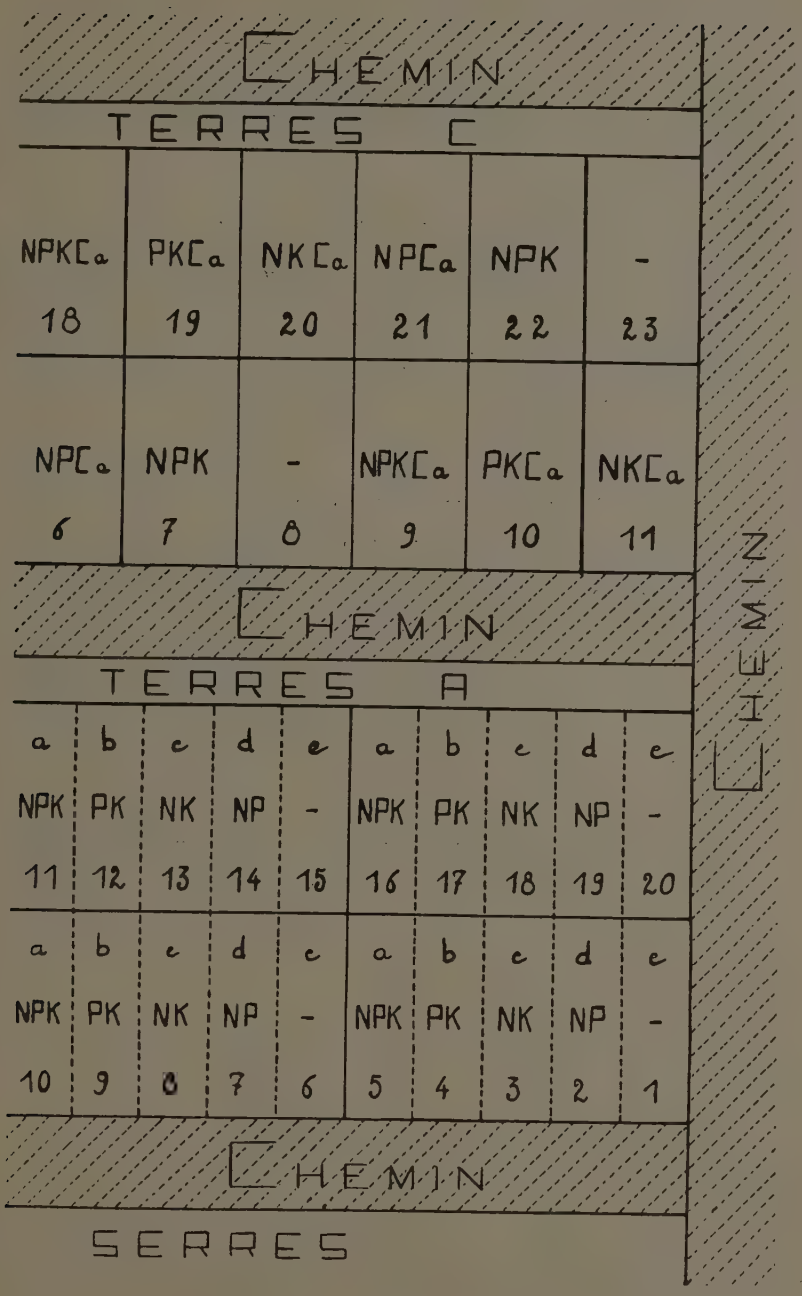
Le plan ci-dessous montre l'organisation des parcelles.

Du point de vue pédologique, les parcelles sont établies sur limon loessique très profond.

Les parcelles indexées C portent depuis 6 ans de la luzerne, avec réinstallation graduelle d'une prairie naturelle.

Les parcelles indexées A, ont porté, en 1953 :

de 1 à 5 : pommes de terre ;
6 à 10 : féveroles ;
11 à 15 : maïs ;
16 à 20 : betteraves.


CHEMIN
TERRES C
NPKCa 18
PKCa 19
NKCa 20
NPCa 21
NPK 22
- 23
NPCa 6
NPK 7
- 8
NPKCa 9
PKCa 10
NKCa 11
CHEMIN
TERRES A
a NPK 11
b PK 12
c NK 13
d NP 14
e - 15
a NPK 16
b PK 17
c NK 18
d NP 19
e - 20
a NPK 10
b PK 9
c NK 8
d NP 7
e - 6
a NPK 5
b PK 4
c NK 3
d NP 2
e - 1
CHEMIN
SERRES
CHEMIN

L'examen des cultures en pleine végétation montre les symptômes classiques des carences en N, P et K, dans les parcelles carencées en ces éléments.

But de nos essais :

1) Etude comparée des méthodes d'analyse chimique (Egner) et microbiologique ;
2) Variations dans le temps des résultats des analyses chimique et microbiologique ;
3) Relations entre résultats d'analyses et observations faites sur la végétation ;
4) Comparaison entre l'analyse d'échantillons de terre frais et d'échantillons séchés et conservés un certain temps.

RESULTATS D'ANALYSES

(Pour les n^{os} des parcelles, se rapporter au plan de la page 181).

L'exposé complet des résultats comporte une quarantaine de pages, dans notre rapport original. Ici encore, nous ne pouvons songer à reproduire ces résultats *in extenso*. Bornons-nous à donner l'essentiel, avec une série d'exemples.

I. — Parcelles C. Résultats des analyses effectuées le 27-1, le 21-3, le 19-6 et le 19-8. Nous ne donnons ici que les dosages de P, les dosages de K n'ayant pu être effectués régulièrement, par les deux méthodes. Rappelons du reste que c'est pour P que les divergences sont les plus frappantes entre méthode chimique et méthode microbiologique.

Prélèvements du 27-1-1953

N°	Traitement	pH	P_2O_5 Aspergillus (mg/100 g)	P_2O_5 Egner (mg/100 g)
C. 6	NPCa	6.8	55	35
7	NPK	6.1	53	26
8	—	6.4	44	19.2
9	NPKCa	7	79	44
10	PKCa	6.8	84	42
11	NKCa	6.8	60	22
18	NPKCa	7	58.5	35.8
19	PKCa	7.1	57.5	37
20	NKCa	7.1	44	23.5
21	NPCa	7.3	70	48
22	NPK	6.5	75	30.2
23	—	6.7	56	30.7

Prélèvements du 21-3-1953

N°	Traitement	pH	P_2O_5 Aspergillus (mg/100 g)	P_2O_5 Egner (mg/100 g)
C. 6	NPCa	6.5	53.5	30
7	NPK	6	53	18.5
8	—	5,9	44	16.2
9	NPKCa	6.7	73	33
10	PKCa	6.4	84	35
11	NKCa	6.45	60.5	23
18	NPKCa	6.6	62	39.2
19	PKCa	6.6	60	33
20	NKCa	6.8	44	23
21	NPCa	6.6	69	43
22	NPK	6.1	65	25
23	—	6.45	57	25

Prélèvements du 19-6-1953

N°	Traitement	pH	P_2O_5 Aspergillus (mg/100 g)	P_2O_5 Egner (mg/100 g)
C. 6	NPCa	6.7	58	33.7
7	NPK	6.1	62	25
8	—	6.2	47	17
9	NPKCa	6,7	78	47
10	PKCa	6.6	83	40
11	NKCa	6.7	68	16
18	NPKCa	6,8	59	33.8
19	PKCa	6.9	65	38
20	NKCa	6.9	53	21
21	NPCa	7.3	75	48
22	NPK	5.9	74	27
23	—	6.7	62	26

Prélèvements du 19-7-1953

N°	Traitement	pH	P_2O_5 Aspergillus (mg/100 g)	P_2O_5 Egner (mg/100 g)
C. 6	NPCa	6.95	54	31.5
7	NPK	5.8	59	25
8	—	6.3	55	15
9	NPKCa	6.8	75	42
10	PKCa	6.7	84	41.5
11	NKCa	6.6	64	19
18	NPKCa	6.85	62	38.7
19	PKCa	7.05	63	40
20	NKCa	7.1	50	24.7
21	NPCa	7.5	68	47
22	NPK	6.05	72	26
23	—	6.7	61	27.5

REMARQUE : L'apport d'engrais se fit en octobre, en dehors de notre période d'observation.

Le graphique 13 ci-dessous reproduit également les résultats.

*
**

Parcelles A. Dosage de P et de K.

Les tableaux ci-dessous indiquent l'évolution de ces éléments, dosés par les deux méthodes, au cours d'une période de 4 mois, soit de juin à octobre. L'apport des engrais a eu lieu en mars, en dehors de notre période d'observation.

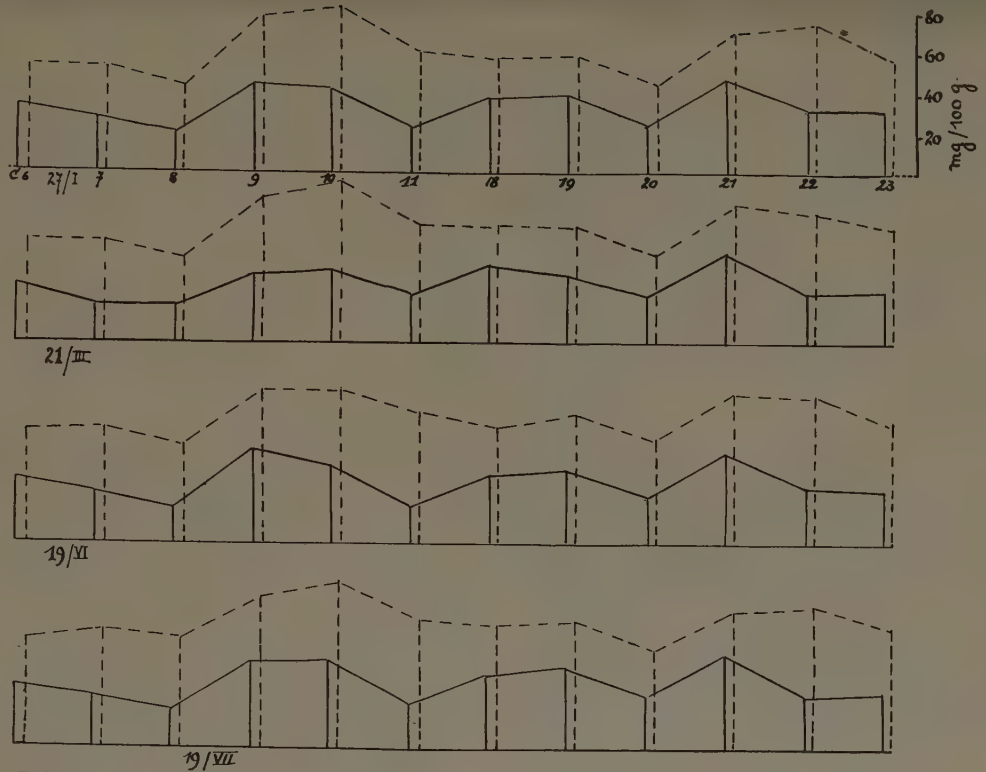
Les deux graphiques 14 et 15 ci-dessous, reprenant la plupart des résultats, traduisent également l'évolution dans le temps, de P et de K.

L'examen des tableaux et des graphiques montre :

Pour P : a) l'influence assez nette de la fumure. Les minima, dans chaque groupe de parcelles (1 à 5 ; 6 à 10 ; 11 à 15 ; 16 à 20) correspondent, par exemple, à la fumure NK. Les maxima, à la fumure NP ;

b) les chiffres donnés par la méthode *A. niger* sont de loin supérieurs aux chiffres donnés par la méthode d'Egner ;

c) les différences sont cependant moins fortes que pour les terres d'Orval et surtout de Carlsbourg ;



PARCELLES C

GRAPHIQUE 13. — *Parcelles « Loi du minimum ».*

Evolution dans le temps, de P dosable a) par la méthode d'Egner ——— b) par *A. niger* — — — —

Evolution de P_2O_5 « Aspergillus »
et de P_2O_5 « Egner » (chiffres entre parenthèses), *dans le temps*

N°	Traitement	19-6	19-7	20-8	20-10	25-3
A. 1	—	65 (28)	65	68 (26)	73.5 (25)	69 (24.7)
2	NP	76 (34)	80	80 (31.5)	79 (30)	80 (24.5)
3	NK	53 (17)	55	52.5 (15)	52 (15)	55 (8)
4	PK	67 (41)	65	64.5 (27)	67 (24)	65 (22)
5	NPK	66 (30)	67	62 (27)	64.5 (27.5)	64 (17.5)
6	—	51.5 (33)		54 (32.5)	53.5 (31)	
7	NP	57.5 (20)		57.5 (23)	56.5 (23.5)	
8	NK	31 (12.5)		31.5 (8.7)	8.5 (5.5)	
9	PK	53 (24)		51 (18)	48 15)	
10	NPK	51.5 (23)		50 (17)	50 (16)	
11	NPK	60,5 (26.2)		49.5 (24)	54 (24.5)	
12	PK	60 (28)		54 (24.5)	57.5 (21.5)	
13	NK	31 (16)		28 (11.7)	27.5 (9.5)	
14	NP	62 (28)		56 (25)	59 (24)	
15	—	48 (24.3)		42.5 (24)	47.5 (24.5)	
16	NPK	62 (21.3)	60	54.5 (23)	59 (23)	64 (16.7)
17	PK	68 (30)	68	55 (24,5)	63 (25.5)	68 (19)
18	NK	48 (13)	49	42 (10.2)	46.5 (10.6)	50 (6.5)
19	NP	74 (34)	72	68 (34 5)	65 (34)	76 (23.2)
20	—	56 (24)	56	53.5 (25)	57 (24 8)	57 (20)

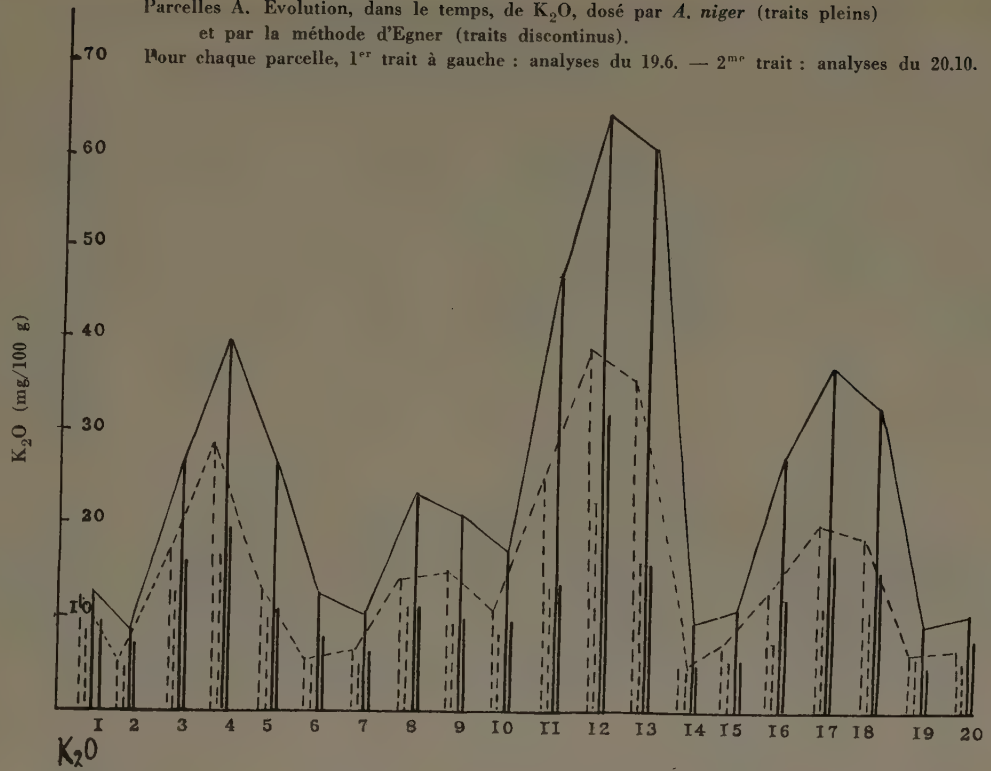
REMARQUE : Apport d'engrais en mars.

Evolution de K_2O « Aspergillus »
et de K_2O « Egner » (chiffres entre parenthèses), *dans le temps*

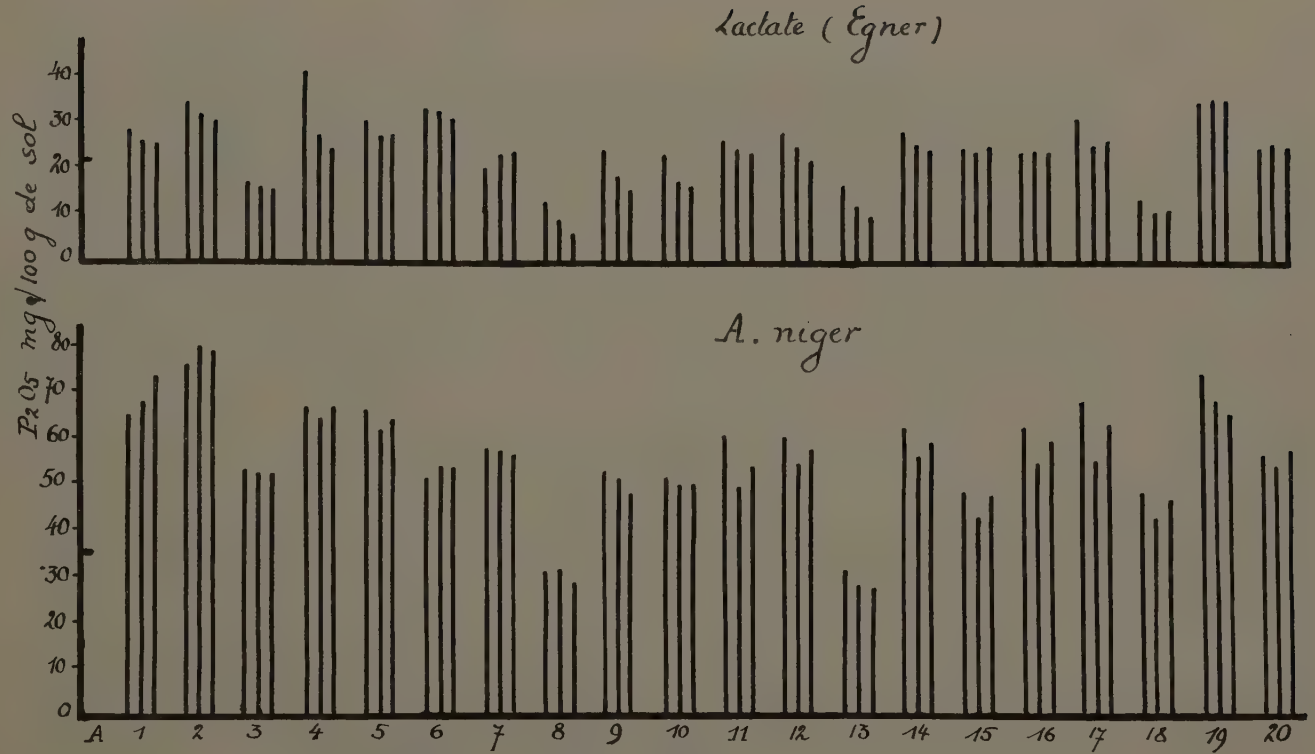
N°	Traitement	19-6	19-7	20-8	20-10	25-3
A. 1	—	13.3 (12)	9.5	9.5	9 (8.8)	9
2	NP	9 (5.25)	7.5	8	7 5 (4 2)	8
3	NK	27 (17,5)	19	16	16.5 (13)	14
4	PK	40 (26.5)	35	26	20 (16 8)	22
5	NPK	27 (13)	19	16	11 (10.2)	15
6	—	12.5 (5.4)		12	8 (5)	
7	NP	10.4 (6)		9	6.5 (4.5)	
8	NK	23 (14 2)		13	10 (8.7)	
9	PK	21 (14 6)		12	10 (8)	
10	NPK	17 (10.3)		15	11 (9.5)	
11	NPK	47 (25)		27	14 (13,8)	
12	PK	65 (37.7)		47	32 (22.5)	
13	NK	61 (35.5)		31	15.5 (16)	
14	NP	9.5 (4.6)		6.2	4.5 (4,25)	
15	—	10.6 (7)		6.8	5.5 (5.5)	
16	NPK	27 (12.7)	15	13	12 (7.5)	12
17	PK	37 (18.8)	30	24	17 (10.8)	16
18	NK	34 (26 2)	16.5	14	15 (9.5)	15.5
19	NP	9.2 (6.4)	8	6.5	5.5 (6,1)	5
20	—	10 6 (6.9)	9	8.5	8.5 (6.5)	9

REMARQUE : Apport d'engrais en mars.

Parcelles A. Evolution, dans le temps, de K_2O, dosé par *A. niger* (traits pleins) et par la méthode d'Egner (traits discontinus).
Pour chaque parcelle, 1er trait à gauche : analyses du 19.6. — 2me trait : analyses du 20.10.



GRAPHIQUE 14 — *N° des parcelles* (N'ont pas reçu de K, les parcelles 1, 2, 6, 7, 15, 14, 19, 20)



GRAPHIQUE 15 — *Analyse comparée du sol de vingt parcelles*

Pour chaque parcelle, à gauche : analyses du 19 juin. au centre : analyses du 20 août ; à droite : analyses du 20 octobre

d) pour les analyses faites à des dates différentes, les chiffres donnés par la méthode microbiologique sont relativement plus constants que les chiffres donnés par la méthode d'Egner. Cependant, dans l'ensemble, les chiffres varient assez peu ;

e) Les chiffres fournis par les parcelles « témoins » notamment, sont supérieurs à ce que traduit l'état de la végétation.

Pour K : a) l'influence très nette de la fumure : les minima correspondent aux parcelles NP, d'abord, « témoins » ensuite. Les maxima, très bien marqués, correspondent aux parcelles PK ;

b) l'amplitude des variations, d'un traitement à l'autre est forte ;

c) les chiffres donnés par *A. niger* sont systématiquement plus élevés (du double environ) que ceux donnés par la méthode d'Egner. Nous n'obtenions pas de telles variations pour les terres de Carlsbourg et d'Orval ;

d) les chiffres donnés par les analyses faites, d'une part, mi-juin, d'autre part, mi-octobre, varient dans de fortes proportions, pratiquement du simple au double pour la méthode *A. niger*, moins pour la méthode d'Egner. La mobilité du potassium explique, en partie tout au moins, ces variations.

A ce propos, nous avons *conservé au laboratoire* des échantillons *prélevés à des dates différentes*, et analysés ces échantillons le même jour. La diminution du K se constatait nettement, dans ces conditions également. Il s'agit ici de la méthode d'Egner.

Parcelles C	Prélèvements				
	27-1	24-2	21-3	27-4	19-6
NPCa	6.5	8.5	5.5	5.5	5.4
—	7.1	7.5	5.35	5.6	5.6
NPKCa	10.6	10.6	8.5	7.5	6 0
NKCa	15.2	13.0	8.5	7.6	6.7

Remarque : Le sol des parcelles dites « de la loi du minimum » est en réalité un sol anormal : longue période de fumure déséquilibrée pour les parcelles NP, NK et PK ; absence de fumure organique, c'est-à-dire minimum de colloïdes organiques et de P organique. Ce dernier point explique vraisemblablement pourquoi les chiffres donnés par la méthode microbiologique, pour P, ne diffèrent pas des chiffres « Egner » dans une mesure aussi forte que pour les sols de Carlsbourg et d'Orval.

En résumé, pour les terres de la « loi du minimum » les chiffres fournis par les analyses correspondent assez bien aux fumures reçues, et aux observations faites sur la végétation, surtout pour K.

Nous avons eu la curiosité de suivre l'évolution du pH, dans nos parcelles.

Le tableau ci-dessous résume nos observations, pour les parcelles A.

Evolution du pH dans le temps

N°	Traitement	19-6	19-7	20-8	20-10
A. 1	—	6.15	6.1	6.2	6.35
2	NP	6	5.8	6.05	6.2
3	NK	5.5	5.7	6	5.9
4	PK	5.6	5.6	5.7	5.75
5	NPK	5.8	6.05	6	6
6	—	6.7		6.8	6.8
7	NP	5.7		6 2	5.95
8	NK	5.6		5.6	5
9	PK	5.5		5.5	5.55
10	NPK	5.6		5.9	5.7
11	NPK	5.7		6.3	6.15
12	PK	5.6		6	5.95
13	NK	5.7		6	6.05
14	NP	5.6		6.3	6.02
15	—	6.5		6.4	6 9
16	NPK	5 5	5.8	6	6.4
17	PK	5.7	5.6	5.9	5.9
18	NK	5.2	5.4	5 8	5.7
19	NP	6	5.95	6.2	6.35
20	—	6.1	6.25	6.2	6.3

Nous avons constaté aussi que le pH d'un échantillon de sol varie selon que l'on effectue la détermination sur le sol humide ou sur le sol séché à l'air. La différence est de l'ordre d'une ½ unité de pH.

Aussi, avons-nous voulu voir si les dosages de K et de P effectués sur des échantillons humides, immédiatement après le prélèvement, donneraient les mêmes chiffres que les échantillons secs.

Pour des raisons matérielles, et aussi parce que le dosage de P « assimilable » présente plus de difficultés que le dosage de K, nous avons surtout envisagé P.

Disons immédiatement que la méthode *A. niger* donne des résultats *pratiquement constants*, que l'échantillon soit humide ou sec. Pour les échantillons humides, le % d'humidité est calculé à part, et les calculs faits en conséquence.

Méthode *A. niger*. P_2O_5 (mg/100 g).

Le premier nombre indique le résultat de l'analyse de l'échantillon humide ; le nombre entre parenthèses se rapporte au même échantillon analysé à l'état sec.

56 (58) ; 61 (62) ; 49 (47) ; 84 (83) ; 66 (68) ; 52 (53) ; 70 (75) ; 60 (62) ; 63 (63) ; 52,5 (53) ; 58 (60,5) ; 59 (60) ; 30 (31), etc.

Méthode d'Egner. P_2O_5 (mg/100 g).

Même notation que ci-dessus.

25 (30) ; 16 (20,6) ; 13,2 (16,25) ; 26,5 (32) ; 18,5 (25) ; 29 (34) ; 37 (43,5) ; 24 (28) ; 23,5 (27), etc.

Pour K_2O, nous n'avons utilisé que la méthode *A. niger*.

Les résultats diffèrent assez peu, que l'échantillon soit humide ou sec.

Voici quelques chiffres : 8,5 (9) ; 17,2 (17) ; 8 (9) ; 23,5 (22) ; 28,6 (28) ; 25,7 (24) ; 17,6 (17) ; 22 (19) ; 23 (21) ; 9,4 (12) ; 40,5 (43) ; 45 (45) ; 37 (36) ; 9,2 (10), etc.

Il résulte de ce qui précède que :

a) pour P, la méthode *A. niger* n'est pas influencée par l'état sec ou humide des échantillons ;
la méthode d'Egner donne des résultats assez différents selon l'état sec ou humide de l'échantillon.

b) pour K, la méthode *A. niger* donne des résultats sensiblement identiques pour les échantillons secs ou humides.

***

3. Analyse de sols traités et conservés dans des conditions déterminées

But de l'essai : Etudier l'évolution dans le temps, de K et de P, dans deux types de sol, et dans des conditions contrôlées, en l'absence de végétation.

Sols analysés : 1) Sol sablonneux, prélevé en octobre dans la région de Mont-Saint-Guibert. Terre légère portant du froment en croissance. Prélèvement dans l'horizon superficiel.

2) Sol limoneux, prélevé en octobre également, dans un champ de Gembloux. Sol fraîchement retourné, ayant porté de l'avoine. Prélèvement dans l'horizon superficiel.

Tamisage grossier, et mise en vases de végétation, à raison de 10 kg de terre par vase.

Les échantillons avaient été préalablement traités de la façon suivante :

TRAITEMENT	SOL SABLONNEUX		SOL LIMONEUX	
	sans Aglusol	avec Aglusol	sans Aglusol	avec Aglusol
Sans engrais id.	(vase 55) (vase 47)	(vase 41)	(vase 1) (vase 0)	(vase 8)
+ P_2O_5 (50 mg/100 g)	(vase 30)	——	(vase 3)	——
+ K_2O (30 mg/100 g)	(vase 48)	——	(vase 2)	——
+ P_2O_5 (50 mg/100 g) + K_2O (30 mg/100 g) id.	(vase 52) (vase 31)	(vase 33)	(vase 4) (vase 6)	(vase 7)

P_2O_5 fut ajouté sous forme de $NH4H_2PO_4$ et K_2O sous forme de K_2SO_4.

Comme le tableau l'indique, 4 vases furent additionnés d'Aglusol U.C.B. à raison de 0,08 %, comme améliorant de structure.

Pendant toute la durée des essais, les pots furent conservés à une t° voisine de 18 °C. Le taux d'humidité a été maintenu constant, et vérifié par des pesées périodiques, jusqu'au 10 décembre.

La terre fut ensuite saturée d'eau afin de reproduire les conditions édaphiques de la terre en place, en hiver, et les pots laissés à l'extérieur.

Les pots furent rentrés le 15 mars, laissés un mois à une t° voisine de 18 °C, et enfin replacés à l'extérieur, jusqu'au 10 mai, date du dernier prélèvement. Du 15 avril au 10 mai, les pots ne subirent aucune addition d'eau. En fait, nous avons voulu soumettre nos échantillons de terre à diverses conditions de t° et d'humidité.

Nous n'avons dosé ici que P_2O_5, par la méthode d'Egner et par *A. niger*.

Le graphique 16 ci-dessous traduit les résultats obtenus lors des dosages des 15-3-54 et du 10-5-54.

Conclusions : la méthode *A. niger* donne des résultats plus constants que la méthode d'Egner. Celà se remarque surtout pour le sol sablonneux ;

GRAPHIQUE 16 — *Terres conservées en vases de végétation*

Dosages selon Egner : ———— Dosages selon la méthode « *Aspergillus* » : — — — — —

Pour la signification des n^os, et les traitements, voir le tableau synoptique des résultats

Voici un tableau synoptique des résultats :

	Traitement	P_2O_5 « Egner »			P_2O_5 « *A. niger* »		
	Date des analyses	10-12	15-3	10-5	10-12	15-3	10-5
47	—	17,4	12,75	19,5	30	31	32
55	—	16,5	12,55	22	32	26	30
48	+K	21,2	12,45	24	32	31	31
30	+P	74,7	50	59	74	72	75
52	+KP	61	60,8	62	70	68	71
31	+KP	71,6	53,5	59	74	72	73
33	+KP (Aglusol)	—	55	59	—	71	75
41	— (Aglusol)	—	16	22,5	—	27	30
1	—	45,5	45,5	50	64	63	65
0	—	45,5	46,2	50	63	61	62
2	+K	44,7	48,5	50	62	58	60
3	+P	90	86.2	90	122	114	116
4	+KP	90	105	97	120	120	121
6	+KP	90	106	96	126	128	124
7	+KP (Aglusol)	—	110	95	—	122	120
8	— (Aglusol)	—	44,5	50	—	60	62

dans les conditions de nos essais, le P ajouté se retrouve assez fidèlement, tout au long de la période d'observation, quelle que soit la méthode de dosage utilisée. La nature du sol n'a pas exercé d'influence notable ;

les deux méthodes d'analyse ne donnent pas les résultats discordants qu'elles donnent pour les sols en place ;

l'influence de l'Aglusol est pratiquement nulle.

Remarquons aussi, sans citer les chiffres détaillés, qu'ici encore, nous avons remarqué que les échantillons analysés à l'état sec donnent, par la méthode d'Egner, des résultats supérieurs de 10 à 30 %, à ceux fournis par les échantillons humides. La méthode *A. niger* donne, elle des résultats pratiquement constants.

CONCLUSIONS GENERALES

Disons d'abord que nous n'avons pas la prétention de tirer de nos analyses de sols divers toutes les conclusions que l'on pourrait formuler. Nous soumettons nos chiffres et nos diagrammes à l'attention des agrochimistes, des pédologues et des agronomes. Nous pouvons cependant émettre les considérations suivantes :

— Pour les sols normaux, en place (cas de Carlsbourg et d'Orval, cas des échantillons de terre fournis par d'autres laboratoires), les résultats fournis par la méthode *A. niger* différent nettement des

résultats donnés par la méthode d'Egner, en ce qui concerne P. Les chiffres fournis par *A. niger* sont, non seulement plus élevés que les chiffres fournis par la méthode d'Egner, mais les corrélations entre les résultats des deux méthodes sont très mauvaises ; en ce qui concerne K, les corrélations sont meilleures.

— Pour P, la méthode *A. niger* dose une partie, tout au moins, du P organique ;

— Pour P, la dessication des échantillons, préalable à l'analyse, n'a pas une grande influence sur les résultats du dosage, en ce qui concerne *A. niger* ;

— les différences relatives données par les deux méthodes varient avec le type de sol (cfr. les sols de Carlsbourg, d'une part, d'Orval, d'autre part ; les sols des Polders) ;

— Pour P, les variations dans le temps sont relativement faibles surtout pour la méthode *A. niger* ; pour K, les variations sont très fortes dans certains cas (parcelles « de la loi du minimum »).

— Certaines méthodes chimiques donnent pour des sols donnés, des résultats se rapprochant plus ou moins, pour P, de ceux donnés par *A. niger* (méthode König) (voir graphique 6), méthode de Ferrari (voir graphique 10). La méthode de Morgan, par exemple, donne par contre des résultats divergents (voir graphique 7).

— Pour les sols en place analysés un certain temps après l'apport de fumure minérale, l'apport de K influence les résultats de l'analyse, alors que l'apport de P ne se traduit que peu ou pas (terres de Carlsbourg et d'Orval) (voir graphiques 11 et 12).

— Pour les cas étudiés, pour P surtout, les résultats de l'analyse concordent assez mal avec l'observation de la végétation. Pour K, les données de l'analyse concordent mieux (cas des terres de Carlsbourg, des terres des parcelles « du minimum »). Les chiffres donnés par *A. niger* sont cependant plus significatifs semble-t-il que ceux donnés par la méthode d'Egner, même pour P.

— Il apparaît à l'évidence que les chiffres donnés par l'une ou l'autre méthode d'analyse du sol ne peuvent être considérés isolément, c'est-à-dire indépendamment des données fournies par l'étude pédologique du sol, et dans l'état actuel de nos connaissances, confrontés, si possible, avec les résultats culturaux, pour des types régionaux du sol.

— Pour P, spécialement, nous pensons que la méthode microbiologique doit, à notre avis, être largement exploitée. La constance relative des résultats qu'elle fournit, le fait qu'elle dose le P organique, sa simplicité et son coût peu élevé, militent en sa faveur.

*
**

ETUDE STATISTIQUE DES RESULTATS

par P. DAGNELIE

INTRODUCTION

A la demande de M. le Professeur P. Manil et sous la direction de M. le Professeur J. Teghem et de M. P. De Munter, assistant à la Chaire de Mathématiques, nous avons procédé à une étude statistique de certains résultats exposés dans les rapports 1952-1953 et 1953-1954.

Ont été étudiés, les résultats d'analyse de terres d'origines diverses, à savoir :

1. Terres dites « de *provenances diverses* », réunissant 45 échantillons envoyés par M. Stenuit, de Louvain. Ces terres ont été analysées par la méthode chimique (Méthode Egner) à Louvain, et par la méthode biologique (Aspergillus niger) à Gembloux. (Rapport 1952-1953, pages 65 et suivantes).

2. *Terres de Carlsbourg* (Ardennes) — 16 échantillons. (Rapport 1953-1954, pages 16 à 20).

3. *Terres d'Orval* (Lorraine Belge) — 34 échantillons. (Rapport 1953-1954, pages 21 à 24).

4. Terres utilisées au cours d'*essais en vases de végétation*, et provenant, en parties égales, de Mont-Saint-Guibert (sol sablonneux) et de la ferme de l'Institut agronomique de Gembloux (sol limoneux). Les analyses des 10-12-1953, 15-3-1954 et 10-5-1954 ont porté sur 44 échantillons (12 + 16 + 16). Rapport 1953-1954, pages 26 à 33).

5. Terres des *parcelles dites « du minimum »*, de l'Institut agronomique de Gembloux *(Série de parcelles C)*. Les analyses des 27-1-1953, 24-2-1953, 21-3-1953, 27-4-1953, 19-6-1953 et 19-7-1953 ont porté sur 72 échantillons (6 × 12).

6. Terres des *parcelles dites « du minimum » (Série de parcelles A)*. Les analyses des 19-6-1953, 20-8-1953 et 20-10-1953 ont porté sur 60 échantillons (3 × 20).

A chaque échantillon correspondent 4 dosages : le potassium et le phosphore, dosés par les méthodes chimique et microbiologique.

Pour les terres énumérées ci-dessus, nous avons étudié les résultats d'analyse de P_2O_5, soit au total 271 couples de résultats (45 + 16 + 34 + 34 + 72 x 60).

Pour K_2O, la liaison stochastique entre les résultats des méthodes chimique et biologique semble très étroite. Cette affirmation a été vérifiée dans 3 cas pris au hasard: terres de Carlsbourg, terres d'Orval, terres des parcelles du minimum (Série A, analyses du 20-10-1953). Il semble donc peu utile d'étendre l'étude statistique aux résultats du dosage du potassium.

PLAN

Le présent addendum comprendra :

A. Une étude de la liaison stochastique entre les résultats des dosages chimique et microbiologique de P_2O_5.

B. Une étude du rapport des résultats analytiques obtenus par ces 2 méthodes.

C. Des conclusions générales.

A. Etude de la liaison stochastique entre les résultats des dosages chimique et biologique de P_2O_5

PRINCIPE

La méthode employée est basée sur un test proposé par H. B. Mann pour mettre en évidence l'existence de tendance (1). Elle offre les avantages suivants sur la méthode du coefficient de corrélation : validité quelles que soient les distributions des variables et quel que soit le degré de la liaison stochastique, simplicité, rapidité des calculs.

Ce test a été décrit et utilisé par P. De Munter dans une publication récente (2). Nous n'exposerons que brièvement le principe de la méthode.

Soient X_1 ... X_n les résultats analytiques obtenus par une méthode d'analyse, par exemple par la méthode chimique, et classés par ordre croissant. En regard de chaque valeur est indiquée la valeur correspondante obtenue par la méthode biologique (T_1 ... Y_n).

Par exemple : Terres du minimum. Série C. Analyses du 19-7-1953

Méthode chimique	Méthode biologique
$X_1 = 15$	$Y_1 = 55$
$X_2 = 19$	$Y_2 = 64$
24.7	50
25	59
26	72
27.5	61
31.5	54
38.7	62
40	63
41.5	84
42	75
$X_n = 47$	$Y_n = 68$

Le test de Mann permet de mettre en évidence la présence ou l'absence d'une tendance. Il s'agirait dans le cas présent d'une tendance à avoir un ordre croissant des résultats microbiologiques, parallèlement à l'ordre croissant des résultats chimiques.

Le résultat des calculs s'exprime par un nombre L, tel que

$$L = \frac{V - \mu_U}{\sigma_U}$$

U est égal au nombre de couples (Y_i, Y_j) tels que

$$Y_i < Y_j \quad \text{quand} \quad i < j.$$

μ_U est la moyenne de U.

σ_U est l'écart-type de U.

(1) H. B. Mann. Non parametric test against trend. *Econometrika* 13, 1945, p. 245.

(2) P. De Munter. Application de tests statistiques paramétriques et non paramétriques à quelques problèmes de climatologie. *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux* 20, 1952, page 373.

La variable réduite L est distribuée approximativement selon la loi normale pour $n > 10$. La liaison stochastique positive est significative si $L > \lambda_\alpha$, λ_α étant la valeur de la distibution normale correspondant au seuil de signification α %.

Prob $(\lambda > \lambda_\alpha) = \alpha$ % si λ suit la loi normale réduite.

On a conventionnellement, pour un test unilatéral au niveau de signification

$\alpha = 5$ % $\lambda_\alpha = 1.64$	Liaison significative (+)
$\alpha = 1$ % $\lambda_\alpha = 2.33$	Liaison hautement significative (++)
$\alpha = 0.1$ % $\lambda_\alpha = 3.09$	Liaison très hautement significative (+++)

Dans l'exemple choisi :

$$U = 48 \qquad \mu_U = 33 \qquad \sigma_U = 7{,}29$$

et L = 2.06, valeur comprise entre 1.64 et 2.33. La tendance, et aussi la liaison stochastique, sont significatives.

RESULTATS

Le tableau I comprend :

(1) l'origine des données ;
(2) les valeurs correspondantes de L et leur niveau de signification ;
(3) le nombre de couples de données étudiées, n ;
(4) (5) les valeurs extrêmes, respectivement, des dosages chimique et microbiologique. L'écart entre ces valeurs (« range ») est une caractéristique de la variabilité des résultats de ces dosages.

CONCLUSIONS

a. Dans les trois cas où la liaison stochastique entre les résultats des *dosages de K_2O* a été envisagée, elle s'est montrée sensiblement plus étroite que la liaison correspondante estimée pour P_2O_5.

	K_2O	P_2O_5
Carlsbourg	4.59	1.89
Orval	3.22	2.02
Terres du minimum	4.64	3.50

(Série A — 20-10-1953).

b. La liaison stochastique est toujours significative, mais à des niveaux différant d'une expérience à l'autre.

c. Le niveau de signification est constant au cours des répétitions d'une même expérience, par exemple aux dates successives de dosage des terres utilisées en vases de végétation, des terres « du minimum » (Série C) ou des terres « du minimum » (Série A).

B. Etude du rapport des résultats des dosages chimique et biologique de P_2O_5

PRINCIPE

Nous avons également voulu envisager sous un autre angle la relation existant entre les résultats analytiques donnés par les 2 méthodes. Dans ce but, nous avons calculé, pour les 271 couples de mesure le rapport $R = \frac{\text{Dosage biologique.}}{\text{Dosage chimique.}}$

TABLEAU I

Données considérées		(2)	(3)	(4)	(5)
Terres de Carlsbourg	K_2O	4.59+++	16	4.5 — 22.4	7.5 — 33
Terres d'Orval	K_2O	3.22+++	33	1.92 — 17.7	1.2 — 16.2
Parcelles du minimum. Série A. 20-10-53	K_2O	4.64+++	20	4.25 — 22.5	4.5 — 32
Terres de provenances diverses	P_2O_5	3.21+++	45	1 — 41	28.4 — 148
Terres de Carlsbourg	»	1 89+	16	7 — 20	80 — 115
Terres d'Orval	»	2.02+	34	4.5 — 37.5	34 — 80
Vases de végétation. Analyses du 10-12-53	»				
(Mont-Saint-Guibert + Gembloux)		4.05+++	12	16.5 — 90	30 — 126
Idem Analyses du 15-3-54	»	4.10+++	16	12.45 — 110	27 — 128
Idem Analyses du 10-5-54	»	4.28+++	16	19.5 — 97	30 — 124
Idem Total	»	7.56+++	44	12.45 — 110	27 — 128
Parcelles du minimum. Série C. 27-1-53	»	2.26+	12	19.2 — 48	44 — 84
Idem 24-2-53	»	1.92+	12	16.2 — 43.5	45 — 80
Idem 21-3-53	»	2.61++	12	16.2 — 43	44 — 84
Idem 27-4-53	»	2.19+	12	16.2 — 43	50 — 95
Idem 19-6-53	»	2.13+	12	16 — 48	47 — 83
Idem 19-7-53	»	2.06+	12	15 — 47	50 — 84
Parcelles du minimum. Série A. 19-6-53	»	3.89+++	20	12.5 — 41	31 — 76
Idem 20-8-53	»	3.80+++	20	8.7 — 34.5	28 — 80
Idem 20-10-53	»	3.50+++	20	5.5 — 34.5	27.5 — 79

Colonne (2) : Valeurs de la variable L et niveaux de signification correspondant.
Colonne (3) : Nombre de couples de données étudiées, n.
Colonne (4) et (5) : Valeurs extrêmes, respectivement, des dosages chimique et microbiologique.

RESULTATS

Nous ne pouvons reproduire ici le tableau donnant la distribution des valeurs de R dans différentes classes de grandeur, en fonction de la provenance des terres. Signalons par exemple que :

a. Parmi les 16 valeurs de R, calculées pour les terres des vases de végétation (terres de Mont-Saint-Guibert et de Gembloux. Analyses du 15-3-1954), 7 sont comprises entre 1.26 (inclus) et 1.50 (inclus) ; 13 entre 1.01 et 2.0 ; etc.

b. Pour les diverses expériences, les moyennes (μ_R) et les variances (σ_R^2) du rapport R ont été calculées.

$$\mu_R = \frac{\Sigma R}{n} \qquad \sigma_R^2 = \frac{\Sigma (R - \mu_R)^2}{n-1} = \frac{\Sigma R^2 - n \mu_R^2}{n-1}$$

CONCLUSIONS

a. La *distribution des valeurs de R* est très variable, en ce qui concerne les moyennes et en ce qui concerne les variances. Ces caractéristiques de distribution accusent des variations plus importantes d'une expérience à l'autre, qu'au cours des répétitions d'une même expérience.

b. *Terres de provenances diverses :* Les moyennes et les variances de R sont très élevées, sauf pour les terres des polders. La distribution des valeurs dans les différentes catégories est d'ailleurs très irrégulière.

c. *Terres de Carlsbourg et d'Orval :* Dans ces expériences, les moyennes et les variances de R sont intermédiaires entre les valeurs correspondantes des terres de provenances diverses et celles des expériences en vases de végétation et des parcelles « du minimum ». Toutefois, la variabillité des échantillons provenant de Carlsbourg ($\sigma_R^2 = 2.5969$) est sensiblement plus faible que celle des terres d'Orval ($\sigma_R^2 = 3.1337$), tandis que la relation inverse existe entre les moyennes (Carlsbourg : $\mu_R = 7.640$ — Orval : $\mu_R = 4.459$). La distribution des valeurs calculées pour les terres de Carlsbourg est relativement beaucoup plus groupée.

d. Terres provenant des *essais en vase de végétation :* La moyenne du rapport R semble constante au cours des trois répétitions et n'accuse pas de différence importante entre les terres de Mont-Saint-Guibert et celles de Gembloux. Par contre, la variance est éminemment variable. La distribution dans les catégories est homogène.

e. Terres des *parcelles « du minimum » (Série A et série C) :* De ces essais ressortent des conclusions analogues à celles exposées au paragraphe précédent, quoique les moyennes et les variances soient, dans l'ensemble, supérieures à celles calculées pour les terres des vases de végétation. La distribution apparaît sensiblement moins groupée que pour ces terres.

ETUDE STATISTIQUE ULTERIEURE

a. Il serait utile de tester avec précision la signification des différences entre moyennes et entre variances. Pour ce faire, il y aurait lieu de prouver d'abord la normalité de la distribution du rapport R. Même si la normalité de cette distribution était assurée, le test classique de Student pour la différence entre 2 moyennes serait inadéquat, dans certains cas du moins, du fait de la différence significative entre les variances. C'est pour cette raison également que l'analyse de la variance n'a pas été effectuée. Toutefois, le test de Behrens-Fisher pourrait être utilisé : ce test peut mettre en évidence une différence entre 2 moyennes, dans le cas d'inégalité des variances.

b. Il pourrait sembler nécessaire d'essayer de mettre le rapport R en relation avec d'autres facteurs que le facteur « provenance des terres » ; par exemple, avec

le traitement, avec l'acidité des terres, avec les résultats du dosage de P_2O_5, etc Cependant, vu l'importance évidente du facteur « provenance des terres », la connaissance de telles relations ne résoudrait pas le problème qui nous est posé.

C. Conclusions générales

Le but de cette étude était de préciser la relation existant entre 2 méthodes de dosages de P_2O_5, dans des échantillons de sol.

CONCLUSIONS DE L'ANALYSE STATISTIQUE

a. Il existe une liaison stochastique significative, mais dans l'ensemble assez lâche, entre les méthodes chimique et microbiologique de détermination de P_2O_5 dans le sol.

b. La précision de cette liaison est éminemment variable d'une expérience à l'autre. Il semble donc impossible d'établir une relation unique par sa forme et par sa précision, applicable dans tous les cas, entre les résultats analytiques des 2 méthodes.

c. Les variations de la précision de la liaison stochastique sont beaucoup plus faibles au cours des répétitions successives d'une même expérience.

INTERPRETATION

Au cours des expériences sur la détermination du *potassium « assimilable »* du sol, on a pu prouver l'existence d'un parallélisme assez strict entre les méthodes chimique et biologique d'analyse. On en déduit qu'aucune des 2 méthodes n'est préférable à l'autre pour donner une estimation de la quantité de potassium « assimilable » du sol. Le choix de l'une ou l'autre d'entre elles, dans un cas d'application pratique, dépendra principalement des possibilités techniques et économiques offertes à l'expérimentateur.

Nous ne jugeons pas la valeur absolue des résultats, d'ailleurs largement concordants, fournis par l'une ou l'autre méthode.

Par contre, en ce qui concerne la détermination du *phosphore « assimilable »*, il semble exister une divergence nette entre les 2 méthodes. On pourrait supposer étant optimales. C'est d'ailleurs le seul moyen de s'assurer de l'exactitude de toute méthode analytique destinée à préciser la valeur productive d'un sol.

Pour vérifier si cette distinction est réelle et pour établir dans quel sens elle se produit, il faudrait étudier la corrélation entre les résultats analytiques de chacune des 2 méthodes (prises séparément) et les résultats culturaux réels obtenus au moyen de doses connues d'engrais phosphatés assimilables, les autres conditions étant optimales. C'est d'ailleurs le seul moyen de s'assurer de toute méthode analytique destinée à préciser la valeur productive d'un sol.

Globalement, ces conclusions sont conformes à celles formulées antérieurement par MM. P. Manil, J. P. Culot et L. Brouwers.

Nous remercions M. le Professeur J. Teghem, ainsi que M. P. De Munter, assistant, pour les conseils qu'ils ont bien voulu nous donner en vue de la présente étude.

QUELQUES ETUDES COMPLEMENTAIRES

Il s'agit ici d'une série de recherches, dont certaines ne seront que mentionnées, et qui ont eu pour objet, soit la méthode *A. niger* elle-même, soit l'étude de la physiologie d'*A. niger*, ou d'autres questions encore.

Nous comptons du reste publier ultérieurement, sous forme détaillée, certains des essais évoqués ci-dessous.

*
**

I — Comparaison entre l'extraction de P par *A. niger* et l'extraction par le milieu de culture lui-même.

Notre attention fut attirée par une objection formulée au sujet de la méthode *A. niger*, tendant à contester à celle-ci son caractère biologique spécifique, pour la ramener à une extraction chimique assez simple dont les acides du milieu seraient les agents de solubilisation. Cette hypothèse est fondée sur la forte acidité du milieu nutritif (1 % d'acide citrique et pH voisin de 3), et le pouvoir acidogène élevé de *A. niger*.

Il faut noter que, dans la méthode *A. niger*, le mycélium n'est pas au contact direct de la terre, mais se développe à la surface du milieu de culture surnageant.

Technique : l'échantillon de terre a été laissé, pendant des temps variables, en contact avec la solution nutritive non ensemencée.

Le mélange a été filtré, et le *filtrat* ensemencé d'*A. niger*, dont le poids de mycélium a été déterminé, après le temps normal.

En comparaison, la méthode *A. niger* ordinaire et la méthode d'Egner.

Dans 3 cas, une 2^{me} et une 3^{me} extractions eurent lieu, durant 3 jours chaque fois.

Le graphique ci-dessous traduit les résultats obtenus.

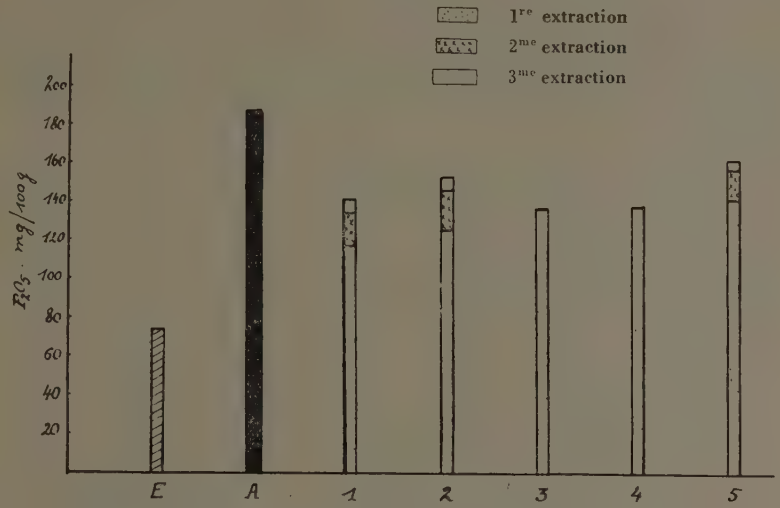
Conclusions : la solution nutritive a pu extraire seule, et en une seule fois, jusqu'à 74 % du P_2O_5 extrait par *A. niger* ;

la quantité de P_2O_5 extraite augmente naturellement avec la durée de l'extraction ;

la somme des quantités de P extraites d'un même échantillon de terre au cours des extractions successives n'atteint pas la quantité de P dosée *directement* par *A. niger*, en présence de la terre.

La méthode *A. niger* ordinaire conserve donc ses avantages, car elle ne nécessite aucune extraction, et surtout pas d'extractions successives.

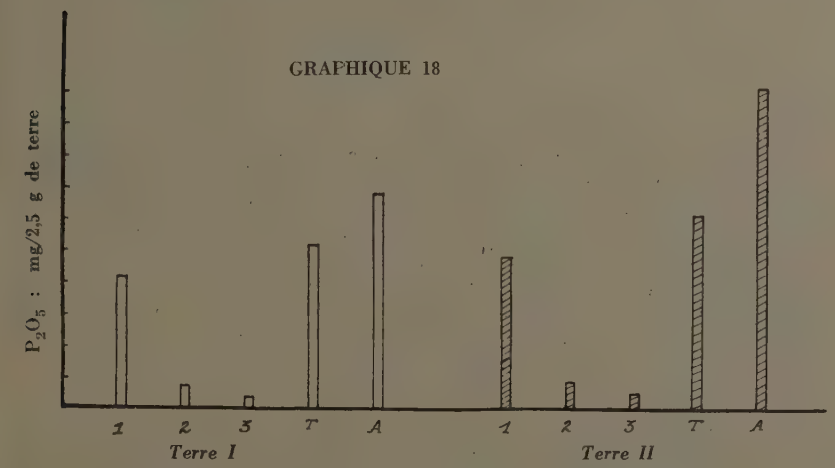
*
**



GRAPHIQUE 17 — *E* : Méthode d'*Egner* - *A* : Méthode *A. niger*
1, 2, 3, 4, 5 : Extractions par la solution nutritive

1 : 1re extraction de 3 jours } plus deux extractions de 3 jours
2 : 1re extraction de 5 jours
5 : 1re extraction de 10 jours
3 : 1 extraction de 6 jours
4 : 1 extraction de 7 jours

GRAPHIQUE 18



Comparaison entre extraction chimique et extraction biologique

1 : 1re extraction
2 : 2me extraction
3 : 3me extraction
T : total des 3 extractions successives
A : extraction par *A. niger*

(Le liquide d'extraction est le mileu utilisé pour le dosage microbiologique)

Un essai analogue a été réalisé en utilisant cette fois deux échantillons différents de terre. Ces derniers furent soumis à trois extractions successives, pendant 4 jours chaque fois. Les filtrats furent soumis à l'analyse par *A. niger*. Une analyse « témoin » utilisa la méthode *A. niger* ordinaire.

Le liquide d'extraction utilisé fut le milieu de culture lui-même.

Le graphique 18 expose les résultats obtenus.

On voit donc, ici encore, que *A. niger* a extrait, directement, plus de P que les 3 extractions successives, ayant porté cependant sur un total de 12 jours.

*
**

Extractions comparées d'un même échantillon de terre par des *solutions nutritives* contenant des doses croissantes d'acide citrique.

Voici quelques chiffres obtenus :

% de HCl de la solution	pH	mg de P_2O_5 dosés par *A. niger*
0	5,7	0,84
0,2	2,7	5,16
0,5	2,5	6,72
1,0	2,4	8,7
1,5	2,2	10,5

On pourrait se demander, dans ces conditions, si le % d'acide citrique dans le milieu de culture n'exerce pas une influence déterminante sur la quantité dosée par *A. niger*. Ce n'est pas le cas, car même en l'absence d'acide citrique, au début, la production d'acide par l'organisme abaisse rapidement le pH à un taux comparable à celui obtenu avec la solution nutritive contenant primitivement 1 % par exemple d'acide citrique. Par exemple, après 6 jours, nous avons observé, sans addition préalable d'acide citrique, un pH de 2,8, alors qu'en présence de 1 % d'acide citrique, le pH était 2,8 également.

*
**

Dosages comparés de P_2O_5 par *A. niger*, d'une part, et *A. flavus-oryzae*, d'autre part.

Nous avons vu que *A. niger* possède un pouvoir acidogène élevé et que ce caractère peut être considéré, du point de vue du dosage de P_2O_5, comme un inconvénient. C'est pourquoi il nous a paru intéressant d'étudier et d'expérimenter d'autres moisissures dans le but

d'un éventuel remplacement de *A. niger*, utilisé communément, par un autre organisme moins acidifiant mais présentant des qualités de croissance et de sporulation comparables.

Ces moisissures, appartenant notamment au genre *Penicillium* et comportant également de nombreuses espèces non encore identifiées, nous ont été aimablement fournies par la Chaire de Botanique de l'Université de Liège (I. R. S. A. C.) et par le Laboratoire Colonial de Recherches Chimiques de Tervueren.

Ces essais, qui portaient sur l'étude de la croissance, de la sensibilité au P_2O_5, de la production de mycélium, de la sporulation, du pouvoir acidifiant, ne seront pas consignés ici car ils n'ont pas donné de résultats intéressants à notre point de vue. La seule moisissure qui nous ait donné satisfaction et ait répondu à nos critères est un *Aspergillus* du groupe *flavus-oryzae*.

But de l'essai. Voir si *A. flavus-oryzae* est utilisable comme organisme « test » pour le dosage de P_2O_5 par la méthode « *A. niger* » et faire une comparaison des résultats obtenus, d'une part avec *A. niger* et d'autre part avec *A. flavus-oryzae*.

Réalisation. Dix échantillons de terre furent analysés par la méthode « *A. niger* » en utilisant, d'une part *A. niger* et d'autre part *A. flavus-oryzae*.

Résultats. Nous ne donnerons pas le détail de l'essai, car il est, pour ce qui concerne les modalités et la concordance des répétitions, conforme aux prescriptions et aux exigences posées lors de la mise au point de la méthode.

Dans le tableau de résultats ci-dessous, les échantillons ont été classés par ordre de teneurs décroissantes en P_2O_5 en se basant sur les résultats fournis par A. *niger*.

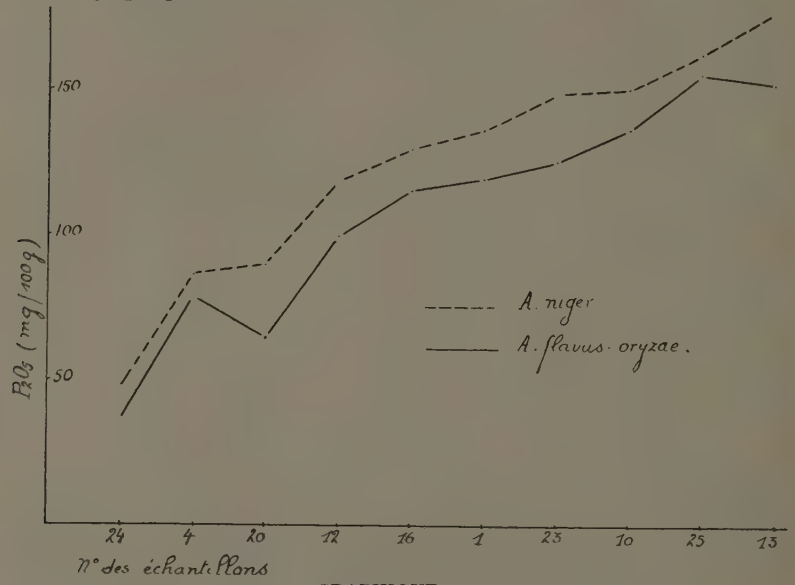
Echant.	*mg de P_2O_5/100 g de terre*		
	A. niger	*A. flavus-oryzae*	Différences
13	176	152	— 24
25	162	155	— 7
10	150	136	— 14
23	148	125	— 23
1	136	119	— 17
16	129	115	— 14
12	118	99	— 19
20	89	64	— 25
4	86	78	— 8
24	46	35	— 11

Dans cet essai, le pH final moyen est de 2,7 à 3 pour *A. niger* et 3.5 environ pour *A. flavus-oryzae*.

Conclusions. *A. flavus-oryzae* renseigne des teneurs en P_2O_5 plus faibles (ce à quoi nous devions nous attendre étant donné son pouvoir acidifiant moindre), mais il y a parallélisme très net entre les résultats fournis par les deux *Aspergillus* des « séries comparatives » étant, bien entendu, faites avec chacun d'eux.

Cette relation est attestée par le fait que le classement des échantillons suivant la teneur est, à deux exceptions près (25 et 4), le même pour les deux dosages.

Le graphique 19 traduit les résultats :



GRAPHIQUE 19

***

Signalons enfin, pour mémoire, parmi les travaux en cours ou à effectuer :

— Essais de mise au point d'une méthode de dosage microbiologique, par culture directe d'une moisissure sur l'échantillon de sol ;

— Etude des équilibres cationiques et anioniques optimum pour *A. niger*, et éventuellement d'autres *micro-fungi ;*

— Etude de la flore microbienne comparée de sols agricoles et forestiers divers ;

— Etudes sur la teneur de sols divers en hydrolases ;

— Etudes sur le « pouvoir ammonisant » du sol.

TRAVAUX DEJA PUBLIES

CULOT, P. — 1953. A propos de l'assimilation des composés organiques du phosphore par *Aspergillus niger*.
Arch. Int. Physiol. Vol. LXI, Fasc. 2, p. 251.

CULOT, P. — 1952. De l'influence du Sodium comme substituant du Potassium dans la croissance d'*Aspergillus niger*.
Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux, XX, 1-2, p. 142.

MANIL, P. — 1953. A propos d'une méthode de dosage biologique du phosphore « assimilable » du sol.
Arch. Int. Physiol. Vol. LXI, 2, p. 265.

CULOT, P. et MANIL, P. — 1953. Dosage microbiologique de P dans les sols argileux. Comparaison avec la méthode d'Egner.
C. R. VI^me Congr. Int. Microb. Vol. 6, Sez. XVIII, p. 320.

BROUWERS, L. — 1955. A propos de la méthode « *Aspergillus niger* » appliquée au dosage du P du sol.
Arch. Int. Physiol. et Bioch. Vol. LXIII.

BROUWERS, L. — 1956. Application de quelques tests microbiologiques à l'étude de deux sols.
Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux, XXIV, n° 1, p. 22.

La hêtraie ardennaise (*)

par

A. NOIRFALISE

(Recherches poursuivies par le Centre de Cartographie phytosociologique, sous l'égide de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture — I.R.S.I.A.)

I. INTRODUCTION

Les prospections effectuées depuis plusieurs années, par le Centre de Cartographie phytosociologique, ont permis de réunir une abondante documentation sur les hêtraies de l'Ardenne. La présente étude se propose d'en dresser le bilan et de compléter ainsi le premier aperçu publié sur cette question en 1950 (1).

Nous remercions tout particulièrement nos collaborateurs, MM. N. Sougnez et A. Thill, en compagnie de qui nous avons effectué de nombreuses prospections et discuté bien des points soulevés dans ce mémoire. Les études de détail auxquelles ils ont pu se livrer dans certains secteurs de l'Ardenne (2) se sont intégrées dans le plan général de la recherche et nous tenons à souligner ici leur très précieuse contribution.

A notre demande, M. P. Dagnelie a bien voulu se charger d'une étude statistique de la productivité des types de hêtraies en Ardenne Centrale ; cette recherche, à laquelle nous empruntons anticipativement quelques chiffres, fera l'objet d'une prochaine publication dans les pages de ce Bulletin.

Nous remercions également M. J. Calembert pour la détermination au laboratoire de certaines caractéristiques des humus forestiers.

*
**

(*) Déposé à la rédaction le 11 mars 1956.

(1) A. NOIRFALISE. Premier aperçu sur l'étage du hêtre et les types de hêtraies en Haute Ardenne. *Bull. Inst. agr. et Stat. de Rech. Gembloux.* T. XVII.

(2) Planchettes phytosociologiques de Champlon, Amberloup, Grupont et Limbourg.

La présente étude ne concerne que les hêtraies acidophiles des sols silicatés que les phytosociologues classent au sein de l'Alliance du *Luzulo-Fagion* (Tüxen et Lohmeyer, 1954) par opposition aux hêtraies « neutrophiles » qui appartiennent à l'Alliance de l'*Asperulo-Fagion* (Knapp, 1948). La séparation des deux groupes s'imposait depuis longtemps pour des raisons aussi bien floristiques que pédologiques : les forêts du *Luzulo-Fagion* sont propres, en effet, aux sols bruns acides tandis que celles de l'*Asperulo-Fagion* correspondent à des sols bruns typiques, dérivés de roches-mères plus ou moins calcarifères et, de ce fait, notablement plus fertiles.

Les hêtraies acidophiles de l'Ardenne s'intègrent elles-mêmes dans un ensemble beaucoup plus vaste qui englobe, au-delà de nos frontières, tout le Massif Schisteux Rhénan. Dans ce vaste territoire de plateaux et de collines, au climat subatlantique et relativement pluvieux, la hêtraie des sols silicatés offre partout la même structure et la même composition, comme en témoignent de nombreuses monographies locales ou régionales (Tüxen, 1937; Büker, 1942; Schwickerath, 1944, 1953; Lohmeyer, 1953; Budde, 1954; Seibert, 1954; Meisel-Jahn, 1955; etc.). Elle relève donc d'une seule et même association à laquelle nous croyons devoir étendre la dénomination de *Luzulo-Fagetum boreoatlanticum*.

La limite occidentale de l'association est relativement bien connue: elle suit en gros, les contours de l'Ardenne, de l'Eifel, du Sauerland, des collines de la Westphalie et de la Weser ; sa limite méridionale est plus délicate à tracer : elle doit épouser approximativement les confins du Massif ardenno-eifelien, du Hunsrück et du Taunus, pour rejoindre à travers le Vogelsberg les chaînons de la Haute Weser. C'est le long de cette ligne qu'apparaissent les premiers réactifs de la hêtraie centro-européenne, en particulier *Prenanthes purpurea* (1).

Vers l'est, les hêtraies acidophiles prennent un caractère plus continental, notamment à partir du Harz. Celles décrites récemment par R. Tüxen (1954), dans ce massif, sous le nom de *Luzulo-Fagetum hercynicum*, témoignent d'une fréquence beaucoup plus grande de *Calamagrostis arundinacea* et d'un affaiblissement notable de l'élément subatlantique (absence de *Ilex Aquifolium*, *Hypericum pulchrum*, *Carex pululifera*) ; ajoutons encore, pour les stations les plus pauvres, la prédominance des lichens sur les mousses *(Luzulo-Fagetum cladonietosum*, relayé vers l'ouest par des hêtraies à *Leucobryum glaucum)*.

La position occidentale des hêtraies ardennaises dans cet ensemble régional les place au contact immédiat des forêts acidophiles du *Quercion roboris-sessiliflorae*, avec lesquelles elles échangent inévitablement des espèces. La florule caractéristique du *Quercion* se retrouve, en effet, à l'état disséminé et d'une manière sporadique dans toutes nos hêtraies *(Ilex Aquifolium*, *Hypericum pulchrum*, *Lonicera Periclyme-*

(1) A notre connaissance, une seule station de cette espèce a été trouvée en Belgique, dans la vallée de la Hoegne, aux environs de Theux (N. Sougnez).

num, Holcus mollis, Pteris aquilina, Galium saxatile) et elle se multiplie tout particulièrement dans les peuplements orientés vers la culture du chêne.

Ces affinités floristiques suffisent-elles pour rattacher nos hêtraies au *Quercion* et leur concéder, ipso facto, la signification de forêts « décadentes » en pleine évolution vers la chênaie ? (MULLENDERS, 1954). Tel n'est pas notre avis : la puissance d'envahissement et de régénération que manifeste le hêtre en milieu ardennais, son évidente adaptation au climat actuel qui lui permet de dominer, même sur les sols les plus pauvres, l'existence enfin d'une florule accompagnatrice *(Luzula nemorosa, Festuca silvatica)* sont autant d'indices d'un réel équilibre et d'une incontestable autonomie phytosociologique.

II. QUELQUES TRAITS GENERAUX DU MILIEU ARDENNAIS

a) Le climat régional

Le climat de l'Ardenne est frais et pluvieux ; la lame d'eau annuelle est supérieure à 1000 mm. Il existe deux noyaux à précipitations comprises entre 1200 et 1400 mm : celui de l'Ardenne septentrionale (Hautes-Fagnes, Eifel belge, Plateau des Tailles) et celui de l'Ardenne méridionale (Croix Scaille, Plateau de Bertrix-Paliseul). Ces deux zones sont séparées, en Ardenne centrale, par le bassin de l'Ourthe, où la pluviosité s'abaisse, dans la vallée principale, à moins de 1000 mm. Le climat local de ce terroir est plus chaud et plus ensoleillé et c'est par la vallée de l'Ourthe que pénètrent en Ardenne les dernières irradiations thermophiles d'origine mosane. On retrouve, par exemple, l'érable champêtre et *Campanula persicifolia* jusqu'aux abords de Houffalize (Moulin de Rensiwez) ; *Primula veris* est fréquent dans les bois aux environs de Laroche et de Halleux (G. VANDEN BERGHEN, 1953; A. THILL, 1956) ; *Tilia platyphyllos, Phyllitis scolopendrium* et *Anemone ranunculoides* y constituent quelques stations remarquables (C. VANDEN BERGHEN, 1953). Les irradiations thermophiles sont, par contre, beaucoup moins profondes dans le reste de l'Ardenne, par exemple le long de la Houille *(Sorbus torminalis)* et de la Semois inférieure *(Phyllitis scolopendrium, Tilia platyphyllos).*

Dans les moitiés orientale et occidentale de l'Ardenne, le régime des pluies est quelque peu différent ; celles-ci culminent en été (juin, juillet, août) dans le premier cas, en automne et en hiver dans le second cas (PONCELET et MARTIN, 1947). Cette circonstance, jointe aux différences d'altitude moyenne, fait de l'Ardenne orientale et septentrionale un pays d'étés plus frais et d'hivers plus rudes qu'au sud ou à l'ouest. Aussi la flore y offre-t-elle une tonalité montagnarde et centro-européenne qui s'atténue ou manque ailleurs : *Calamagrostis arundinacea, Centaurea montana, Knautia silvatica, Ranunculus platanifolius, Senecio jacquinianus* et, dans les herbages : *Meum athamanticum, Geranium silvaticum,*

Thesium pratense, *Ajuga pyramidalis*, etc. Sans doute, ce caractère orophile et continental va-t-il de pair avec un renforcement apparent de l'élément atlantique (C. Vanden Berghen, 1952), propre aux tourbières et aux landes tourbeuses (*Erica tetralix*, *Narthecium ossifragum*, *Gentiana pneumonanthe*, *Carex binervis*, ces deux derniers limités à la Baraque Michel). L'absence de ces espèces en dehors des hauts plateaux de l'Ardenne septentrionale n'a cependant pas le poids chorologique qu'on serait tenté de lui attribuer, car elle résulte avant tout des particularités géomorphologiques du pays, bien plus que de celles du climat (1).

A vrai dire, si l'on fait abstraction des tourbières pour se limiter à la flore des sols zonaux, on constate que l'influence atlantique est plus prononcée dans l'ouest et le sud de l'Ardenne que dans le nord et dans l'est. Elle se traduit notamment par une fréquence plus grande d'*Ilex Aquifolium* et de *Narcissus pseudonarcissus* qui pénètrent en Ardenne septentrionale par les vallées. Ajoutons encore que des espèces typiquement atlantiques comme *Osmunda regalis* et *Myrica Gale* apparaissent dans l'ouest de l'Ardenne ; il en est de même d'*Endymion nutans*, connu au Plateau de Rocroi.

b) Les formations lithologiques

Les formations lithologiques du massif ardennais dérivent sans exception des roches silicatées de Cambrien (Révinien, Salmien) et de l'Eodévonien (Gedinnien, Siégénien et Emsien). Bien que chaque étage et chaque faciès possèdent leurs particularités lithologiques (E. Asselberghs, 1946), l'ensemble constitue un système relativement homogène où dominent les terrains schisto-phylladeux, gréso-schisteux et gréso-quartziteux.

Les niveaux calcarifères sont rares et principalement localisés dans le Gedinnien supérieur (G_2b, assise de Saint-Hubert), le Siégénien moyen et supérieur et l'Emsien. A ces couches correspondent des sols en moyenne chimiquement mieux saturés, comme l'ont montré J. Deckers et R. Vanstallen (1955) ; c'est sur ces assises qu'apparaît le charme, en dessous de 450 m d'altitude, non seulement dans les chênaies à charme proprement dites, mais aussi, d'une manière sporadique, dans la hêtraie elle-même.

On relève, du reste, dans toutes les vallées qui recoupent ces terrains, de véritables associations forestières calcicoles. Ces irradiations sont fréquentes sur le pourtour du Bassin de Dinant, par exemple, dans les vallées dépendant de la Lhomme et de la Lesse, mais elles sont plus

(1) Les tourbières et landes tourbeuses sont presqu'entièrement limitées à la vieille pénéplaine précrétacique de l'Ardenne, où les stigmates du climat périglaciaire sont beaucoup plus prononcés qu'ailleurs. Dans toutes les zones de l'Ardenne à relief plus juvénile, les paysages tourbeux manquent quasi totalement ou sont réduits à des fangettes ou tourbières basses acides.

nombreuses encore dans le Bassin de Laroche-Houffalize. Les prospections phytosociologiques réalisées dans ce terroir par C. Vanden Berghen (1953), A. Thill (planchette phytosociologique de Champlon), J. Lebrun, P. Reginster et A. Noirfalise ont permis de relever de nombreuses stations de la hêtraie mélangée à *Asperula odorata* et *Ulmus scabra*, du *Querceto-Carpinetum primuletosum* (environs de Maboge et de Halleux) et même des types forestiers franchement calcicoles, comme le *Scolopendrio-Fraxinetum* et le *Cariceto remotae-Fraxinetum* à *Carex pendula*.

Des circonstances analogues se répètent sur le pourtour méridional et oriental de l'Ardenne où des colonies calcicoles jalonnent la Semois dans son cours ardennais, le long des calcaréophyllades d'Alle jusqu'à Bouillon (Pierlot, 1950 ; A. Thill, 1955). De telles irradiations existent également sur les versants septentrional et oriental du massif, notamment le long de la Roer (Schwickerath, 1944) et de l'Our. On les retrouve enfin jusqu'au cœur de l'Ardenne orientale, dans le Bassin de l'Amblève, vers 500 m d'altitude. Seuls les terroirs cambriens et salmiens en paraissent entièrement dépourvus.

c) Les sols

Les sols silicatés de l'Ardenne ont fait l'objet de descriptions circonstanciées par A. Pecrot et P. Avril (1954) et J. Deckers et R. Vanstallen (1955). Il s'agit de « sols bruns acides » ne manifestant qu'exceptionnellement un faible entraînement d'argile en profondeur (types AC et A (B) C). Dans certaines situations, ils ont pu subir, même sous forêt, un processus superficiel de podsolisation qui les fait évoluer vers le « sol brun podsolique » ou « sol brun ocreux » (G. Manil et A. Pecrot, 1954). Nous rencontrerons plus loin les causes de cet état qui apparaît tantôt comme le résultat d'une transformation récente, tantôt comme l'expression probable d'un équilibre.

Les prospections pédologiques réalisées en Ardenne centrale par les auteurs précités ont montré que les sols de la hêtraie acidophile appartiennent, pour la plupart, à deux variétés du sol brun acide, caractérisées par la présence ou l'absence d'un horizon induré en profondeur.

Les sols bruns à horizon induré sont assez fréquents sur le Plateau de Saint-Hubert (A. Pecrot et P. Avril, 1952) et sur le Plateau des Tailles (J. Deckers et R. Vanstallen, 1955) ; si leur répartition générale en Ardenne n'est pas encore connue, on peut présumer qu'ils sont principalement localisés dans les surfaces aplanies des hauts plateaux à partir de 500 m. Dans ces paysages à morphologie sénile, la roche-mère pédologique est constituée, en dehors des rides et des crêtes de dénudation, par une couche solifluée dans laquelle on retrouve localement des résidus de sols rubéfiés plio-pléistocènes et des stigmates périglaciaires (cryoturbation, gélification). La masse solifluée est hétérogène au point de vue lithologique et présente, en profondeur, à partir de 50

à 90 cm, un horizon induré, compact, peu perméable à l'eau et aux racines (1). Ce dernier confère au sol une relative fraîcheur, en même temps qu'il limite le volume utile de la rhizosphère; le hêtre, en particulier, y présente un enracinement tabulaire et superficiel.

Les sols à horizon induré paraissent plus fréquents dans les zones gréso-quartziteuses (A. PECROT et P. AVRIL, 1954) et constituent habituellement des sols pauvres ; sur la bande occidentale de l'Ardenne, ils sont localement chargés de limon loessique, circonstance qui en améliore quelque peu la fertilité (2).

Les sols dépourvus d'horizon induré sont beaucoup plus répandus en Moyenne Ardenne et dominent dans les contreforts des plateaux, les niveaux inférieurs d'aplanissement (aires de pénéplanation en dessous de 450 m) et, d'une manière générale, sur les substrats schisto-phylladeux. Le tempérament de ces sols dépend d'une manière beaucoup plus étroite des propriétés de la roche-mère ; leur porosité, leur richesse en argile, leur économie en eau et leur fertilité chimique varient au gré de la mosaïque lithologique. Ces nuances induisent dans la végétation forestière de nombreuses variations locales, aussi bien dans les hêtraies que dans les chênaies sessiliflores.

d) L'action humaine sur la forêt

Reconstituer l'histoire forestière de l'Ardenne est une tâche d'envergure que nous n'avons pas la prétention d'aborder ici. Divers essais, en particulier la brillante monographie de G. HOYOIS (1953) et certaines études de portée plus locale (P. GERARD, 1952) apportent sur cette question de nombreux aperçus.

Les auteurs les plus anciens ne fournissent guère d'indications botaniques sur la composition des forêts primitives du pays et leur reconstitution à travers les indications toponymiques demeure évidemment hasardeuse. Il est connu, toutefois, qu'à partir du Bas Moyen-Age, l'action de l'homme sur la forêt a été profonde et générale. Dès cette époque, de nombreuses forêts sont utilisées intensivement par les communautés rurales ; les pratiques du taillis, de l'essartage, du soutrage, du pâturage sévissent presque partout au voisinage des localités ; la politique des grands propriétaires ecclésiastiques ou laïques n'a visé, au cours des siècles, qu'à soustraire les bois à l'emprise du paysan par un cantonnement de plus en plus sévère et de plus en plus limité des forêts usagères (G. HOYOIS, 1953) (3).

(1) Cet horizon induré, dont l'origine n'est pas entièrement élucidée, présente des caractères qui rappellent ceux du « fragipan » des auteurs américains (voir à ce sujet A. PECROT et P. AVRIL, 1954).

(2) Ces dépôts loessiques ont été repérés sur le plateau de la Baraque Michel (P. BOURGUIGNON, 1953), des Tailles (F. GULLENTOPS, 1952) et de Saint-Hubert (A. PECROT et P. AVRIL, 1954).

(3) Dès le XIII^{me} siècle, les mesures de cantonnement se multiplient ; elles firent l'objet d'une ordonnance générale en 1617 (G. HOYOIS, 1953).

La distinction entre forêts banales et forêts réservées est donc ancienne et s'est maintenue, non sans aléas, à travers les siècles. Elle se reflète aujourd'hui encore dans la toponymie forestière. Des dénominations comme celles de Bois de l'Abbaye, Bois du Chanoine, Bois du Prince, Bois du Duc, Bois du Seigneur, Gros Bois, etc., doivent correspondre à un statut juridique particulier. C'est dans ces massifs que la forêt a pu conserver son aspect le plus naturel, tandis que le régime des forêts usagères ne pouvait qu'en modifier profondément la composition, en sélectionnant d'une manière radicale, une flore ligneuse adaptée au taillis à courte révolution (chêne, bouleau et sorbier; charme et noisetier, dans les sols plus fertiles).

On sait aussi que le régime sylvicole des forêts réservées fut, un peu partout et pendant de nombreux siècles, celui du taillis sous futaie. Les textes font état d'une généralisation beaucoup plus grande autrefois qu'aujourd'hui de ce mode d'utilisation, surtout en Moyenne Ardenne, mais aussi en Haute Ardenne. Ce fut le cas, jusqu'au XIX^{me} siècle, dans le massif boisé du Plateau de Saint-Hubert et, jusqu'à nos jours, dans la forêt d'Anlier. Une telle politique ne pouvait que favoriser le chêne et avec lui, dans les stations propices, l'érable sycomore, la charme et le noisetier. En fait, comme le souligne G. Hoyois (1953), la production du chêne fut longtemps le pivot de la sylviculture ardennaise; nombre de peuplements en portent encore visiblement les stigmates.

Un événement devait cependant retentir profondément sur le régime des forêts réservées. Sous l'impulsion des maîtres de forge, l'ordonnance de 1754 les livra à une exploitation effrénée ; les peuplements furent décimés pour les besoins du charbonnage et ils étaient, à la fin du XVIII^{me} siècle, si grandement appauvris que leur mise en repos s'imposa presque partout. Cette mesure permit au hêtre de se régénérer vigoureusement sur de grandes étendues et de prendre partout le pas sur le chêne ; la majeure partie de nos hêtraies actuelles se sont reconstituées à cette époque ; restituées à leur dynamisme naturel, elles ont vu se rétrécir une réserve en chêne qu'un long passé avait scrupuleusement maintenue et favorisée. Sans doute, la transformation ne s'est-elle pas accomplie partout synchroniquement, sans doute a-t-elle été contrariée, en maints endroits, par la survivance des vieilles traditions culturales. Il n'empêche que cette évolution a consacré la puissance d'envahissement du hêtre dans le milieu ardennais et lui a restitué le rôle probable qu'il jouait dans la forêt primitive.

La destinée des forêts usagères fut, par contre, bien différente. Traitées en taillis à courtes révolutions, fréquemment soumises à l'essartage, au soutrage et même au pâturage, elles se sont éclaircies et dégradées, laissant place à la myrtille et même à la bruyère. A leurs dépens, autour des localités, s'étendent des landes-sarts et des pâtures-sarts, espaces ouverts, peuplés de genêts ou parsemés de buissons, qui jouaient encore, il y a quelque 50 ans, un rôle physionomique important. Ce n'est que sur les sols les plus fertiles, primitivement dévolus à la chênaie

à charme ou à la hêtraie à fétuque qu'un taillis vigoureux, à base de coudrier et de charme a pu résister à la cadence des exploitations et aux pratiques d'essartage.

Les surfaces occupées par ces végétations, pour autant qu'elles n'aient point été définitivement incorporées au domaine agricole, portent encore, pour une part, des taillis de chêne-bouleau plus ou moins appauvris. Beaucoup d'entre eux, cependant, ont été replantés, au XIX^{me} et au XX^{me} siècles, tantôt par le chêne et le hêtre, tantôt par l'épicéa. Telle est, en particulier, l'origine des hêtraies artificielles dont nous aurons à parler à la fin de ce travail.

e) Répartition générale des hêtraies

C'est en Haute Ardenne, sur les plateaux d'altitude supérieure à 450 m, que les hêtraies acidophiles occupent encore de nos jours les surfaces les plus étendues. Plus qu'ailleurs, elles y ont échappé au régime du taillis et du taillis sous futaie. Sur ces plateaux à morphologie sénile, où dominent les roches les plus anciennes, elles occupent presque partout des sols pauvres et relèvent des variantes les moins fertiles du *Fagetum*. Leurs groupements de substitution, taillis ou taillis sous futaie, ne comportent jamais le charme. Les raisons de son absence sont probablement complexes : médiocrité des sols, humidité et rigueur excessive du climat, permanence des hautes futaies. Ces circonstances font des hauts plateaux de l'Ardenne un étage forestier d'une certaine autonomie, auquel il a paru opportun d'appliquer la dénomination d'*étage du hêtre* (A. Galoux et A. Noirfalise, 1950). La présence d'une flore orophile, dont nous avons parlé précédemment, milite également en faveur de cette conception.

En Moyenne Ardenne, les hêtraies acidophiles constituent encore d'importants peuplements sur les plateaux et sur les versants ombragés qui les relient à la Haute ou à la Basse Ardenne. Dans ces paysages à morphologie plus jeune et plus mouvementée, les sols bruns acides, sans horizon induré sont beaucoup plus répandus et, sur certaines assises, plus fertiles qu'en Haute Ardenne. Aussi le charme apparaît-il fréquemment dans la hêtraie, par pieds isolés ; il est même accompagné, sur les substrats schisteux les plus riches, par des transgressives du *Querceto-Carpinetum*, telles que *Poa Chaixii*. Dans la moitié méridionale de l'Ardenne, maintes hêtraies occupent, de cette manière, une position intermédiaire entre le *Luzulo-Fagetum* et le *Querceto-Carpinetum luzuletosum*.

En Basse Ardenne, au-dessous de 350 m d'altitude, les hêtraies acidophiles sont rares et localisées le plus souvent sur des versants ombragés. Sans doute, la forêt a-t-elle subi ici, plus qu'ailleurs encore, l'emprise de l'homme; il est certain, toutefois, que la chênaie sessiliflore était primitivement très répandue sur les sols bruns acides, notamment sur le versant atlantique de l'Ardenne, où son individualité floristique est bien marquée.

Il apparaît donc que la hêtraie acidophile constitue une des associations majeures de l'essaim climatique en Haute et Moyenne Ardenne, pour n'être plus, en Basse Ardenne, qu'un groupement physiographique des versants ombragés. Cette conclusion n'infirme nullement l'existence d'autres forêts à caractère climacique, comme la chênaie à charme *(Querceto-Carpinetum luzuletosum)*. Cette dernière ne remonte pourtant guère, dans les vallées, au dessus de 500 m et se localise en Moyenne Ardenne sur les sols les plus fertiles, soit dans le bas des versants, soit sur des plateaux argileux ou limoneux, à profil ABC plus ou moins caractérisé ; son autonomie floristique par rapport au *Fagetum* est nettement accusée *(Quercus pedunculata, Fraxinus excelsior, Prunus avium, Prunus Padus, Viburnum Opulus, Poa Chaixii, Narcissus pseudonarcissus,* etc.). C'est en Ardenne méridionale qu'elle prend son extension la plus grande, pour des raisons à la fois climatiques et pédologiques.

La chênaie sessiliflore elle-même n'est pas partout une forêt de substitution du *Fagetum* ; tout semble indiquer qu'elle est primitive sur les versants secs et ensoleillés, où la concurrence du hêtre est moins active. Elle s'enrichit en hêtre du bas au sommet de l'Ardenne.

III. STRUCTURE PHYTOSOCIOLOGIQUE DES HETRAIES ACIDOPHILES

La structure phytosociologique des hêtraies acidophiles de l'Ardenne est relativement simple, leur composition botanique peu variée. Les vieilles futaies sont le plus souvent régulières, d'un seul étage ; cet aspect est commandé par leur mode de régénération, qui diffère de celui des hêtraies neutrophiles ; il est connu, en effet, que sur les sols pauvres, la régénération du hêtre exige plus de lumière que sur les sols fertiles et que les plants s'étiolent rapidement sous le couvert ; la régénération ne s'accomplit efficacement que par plages relativement étendues, qui se régularisent rapidement en petits massifs d'allure équienne ; avec le temps, la forêt, même régénérée par à-coups, prend l'aspect d'un peuplement homogène, quoique d'âge multiple ; la hêtraie acidophile est donc, par vocation, une forêt unistrate.

a) *Le hêtre.* Le hêtre constitue habituellement plus de 80 % des pieds ; ses semis sont abondants mais sans avenir sous le couvert, même lorsqu'il est relevé. Une technique de régénération, basée sur des trouées larges, s'impose et réussit pleinement dans la plupart des cas ; la sylviculture de la hêtraie ardennaise doit être dynamique et forcer la nature plutôt que la suivre.

Les échecs de régénération paraissent dus à deux causes. Dans certaines stations, ils résultent de l'extension des herbages, favorisée par un couvert maintenu trop relevé ou trop clair pendant des années consécutives. Dans beaucoup de cantons cependant, ils résultent d'un excès de gros gibier, comme en témoignent unanimement les agents forestiers ; il est évident que dans bien des situations, le

cheptel herbivore a cessé d'être proportionné au pouvoir nutritif de la forêt, depuis l'enrésinement systématique des fangettes, des vallons, des hêtraies à myrtille et canche flexueuse et des taillis enherbés, où il trouvait autrefois une abondante nourriture ; on ne pourra concilier les exigences du chasseur et celles du forestier qu'au prix d'une politique d'ajustement, basée sur la conservation des ressources herbagères naturelles.

b) *Le chêne sessile.* Le chêne sessile est généralement associé au hêtre dans une proportion qui diminue du bas au sommet de l'Ardenne, et qui dépasse rarement 20 %. Ses semis sont peu abondants et difficiles à maintenir sous la hêtraie ; le régime de futaie pleine consacre l'inévitable disparition de cette essence.

L'actuelle proportion du chêne sessile ne dépend pas uniquement de l'altitude et de la nature des sols (voir à cet égard les tableaux phytosociologiques), mais également du régime antérieur de la forêt. Souvent favorisé dans le passé, il s'est maintenu d'autant mieux que la conversion des anciennes forêts à la futaie pleine a été plus tardive ou plus mesurée.

c) *L'érable sycomore.* L'érable sycomore est moins répandu que le chêne sessile et localisé, dans les hêtraies, sur les sols les plus fertiles (hêtraies à fétuque) ou les plus humides (hêtraies à carex). Les semis y sont abondants et ne manquent pas non plus dans les autres types de hêtraies, mais ils n'ont guère l'occasion de percer, faute d'éclairement suffisant. L'essence était mieux représentée dans les futaies claires et les taillis sous futaie et elle a été, dans certaines forêts, systématiquement éliminée par le forestier. Son maintien comme essence culturale est toutefois souhaitable.

d) *Les essences accompagnatrices.* Les essences accompagnatrices sont réduites à des brins disséminés de *Sorbus Aucuparia* et, dans les trouées, à des buissons de *Sambucus racemosa*, qui apparaissent en compagnie de *Rubus idaeus*. Le coudrier est rare et propre aux stations les plus fertiles. Le charme se maintient mieux que lui, quoique à l'état disséminé ; nous avons envisagé précédemment sa répartition et sa signification. Sont enfin exceptionnels, le saule-marsault *(Salix caprea)*, l'alouchier *(Sorbus Aria)* et le bouleau *(Betula verrucosa)*, rémanents habituels d'anciens taillis sous futaie. La houx *(Ilex Aquifolium)* n'est pas rare dans la hêtraie sur le flanc atlantique de l'Ardenne, mais il n'existe souvent que par pieds isolés et au-dessous de 500 m d'altitude. Quelquefois, il constitue des massifs d'une certaine densité, volontiers recherchés par le gibier.

e) *Le sous-bois.* Le tapis herbacé est monotone et pauvre. Les éléments les plus constants sont la luzule blanche *(Luzula nemorosa)*, le polytric *(Polytrichum formosum)*, la canche flexueuse *(Deschampsia flexuosa)* et le carex à pilules *(Carex pilulifera)*. A ce groupe s'associent, selon les stations, *Festuca silvatica* ou *Vaccinium Myrtillus. Cala-*

magrostis arundinacea n'est répandu que dans le nord de l'Ardenne (Hertogenwald, Eifel) ; vers le sud, ses stations se raréfient mais il existe encore dans le bassin de la Lesse (Mirwart, Saint-Michel, Freyr) ; il se multiplie volontiers dans les peuplements à dominance de chêne.

La position occidentale de nos hêtraies explique la présence d'espèces subatlantiques, considérées à juste titre comme des transgressives des forêts du *Quercion roboris-sessiliflorae* ; telles sont à côté d'*Ilex Aquifolium* déjà mentionné, *Lonicera Periclymenum, Hypericum pulchrum, Galium saxatile, Holcus mollis* et *Pteris aquilina.* Cet ensemble n'est pourtant représenté que d'une manière sporadique et par des coefficients d'abondance-dominance insignifiants.

Le dépouillement des relevés phytosociologiques permet de définir quatre types de hêtraies, auxquelles nous donnons le rang de sous-associations du *Luzulo-Fagetum.* Ce sont les suivantes :

1. la hêtraie à grande fétuque *(Luzulo-Fagetum festucetosum) ;*
2. la hêtraie humide à luzule blanche *(Luzulo-Fagetum caricetosum)* ;
3. la hêtraie typique à luzule blanche *(Luzulo-Fagetum typicum) ;*
4. la hêtraie à myrtille *(Luzulo-Fagetum vaccinietosum).*

Le tableau I résume la composition botanique des quatre types en indiquant le degré de présence des espèces (Classes I à X) et leur chiffre moyen d'abondance-dominance, selon l'échelle de Braun-Blanquet (chiffres arabes en exposant).

A ces quatre types, nous en joignons un cinquième, qui englobe des hêtraies médiocres, pratiquement dépourvues de luzule et largement envahies par la myrtille. Cette hêtraie propre aux sols bruns podsoliques ne constitue qu'un faciès enrichi en hêtre de la chênaie sessiliflore ardennaise *(Quercetum sessiliflorae-Betuletum).* Il est répandu dans toute l'Ardenne.

IV. LES TYPES DE HETRAIES DE L'ARDENNE

A. LA HETRAIE A FETUQUE
(Luzulo-Fagetum festucetosum)

1. *Composition du peuplement ligneux*

La hêtraie à fétuque est une forêt mixte de hêtre, érable sycomore et chêne sessile. L'érable est peu abondant dans la futaie, mais il produit de nombreux semis qui disparaissent à bref délai sous l'ombrage du hêtre. Le chêne sessile est peu représenté et sa proportion dépend du traitement antérieur de la forêt. Les autres essences sont exceptionnelles : on n'a relevé que quelques fois le chêne pédonculé et l'érable faux-platane *(Acer platanoïdes)* ; l'orme et le frêne manquent totale-

Tableau I. — STRUCTURE FLORISTIQUE DU LUZULO-FAGETUM EN ARDENNE

	L. F. festucetosum (87 relev.)	L. F. caricetosum (42 relev.)	L. F. typicum (57 relev.)	L. F. vaccinietosum (26 relev.)
1. Essences principales :				
Fagus silvatica	X5	X5	X5	X4
Quercus sessilis	VI1	VI1	VII1	VII2
Acer Pseudoplatanus	IV1	II+	I+	I+
2. Régénération des essences principales :				
Fagus silvatica	X2.3	X2.3	X2.3	X1.2
Quercus sessilis	IV+	VII+	IV+.1	V+.1
Acer Pseudoplatanus	VI1.2	IV1.2	II+	III+
3. Essences accompagnatrices :				
Sorbus aucuparia	IV+	II+	VII+.1	VI+
Carpinus Betulus	VI1.2	II+	II+	—
Sambucus racemosa	II+	—	III+.2	—
Salix caprea	II+	II+	—	—
Betula verrucosa	II+	—	I+	I+
Betula pubescens	—	I+	I+	—
Sorbus Aria	—	—	I+	—
Ilex Aquifolium	I+	—	—	I+
Acer platanoides	II+	—	—	—
Quercus pedunculata	II+	—	—	—
4. Strate herbacée :				
a. Différentielles de l'association.				
Luzula nemorosa	IX2.3	X3.4	X2.3	X2
Dryopteris spinulosa	VI+.1	VII+	V+.1	V+
Polygonatum verticillatum	IV+.1	II+	II1	I+
Calamagrostis arundinacea	I1.3	—	I2.3	I3
Luzula silvatica	III	I+	I+	II+
Polytrichum formosum	IX1.2	X2	X2	X2
Deschampsia flexuosa	VII1.2	VI+.1	X1.2	X3
Carex pilulifera	V+.1	VIII1	VII1	VII1
Dicranum scoparium	III+	IV+	III+	VI+
Dicranella heteromalla	II+	V1	II+	III+
Hypnum cupressiforme	II+	III+	II+	III1
Rhytidiadelphus loreus	I+	—	I+	II+
b. Transgressives du Quercion roboris-sessiliflorae.				
Hypericum pulchrum	III+	II+	I+	—
Holcus mollis	II+	II+	II1	—
Galium saxatile	I+	II+	II+	I+
Pteris aquilina	I+	I+	II+	III1
c. Espèces des Fagetalia.				
Oxalis acetosella	VI1.2	VI1.2	V2.3	I+
Milium effusum	IV1	II1	II2	—
Anemone nemorosa	VI1.2	II+	II+	—
Carex silvatica	II+	II+	I+	—
Catharinea undulata	V+	II+	II+	—
Athyrium Filix femina	IV1	IV+	III1.2	II+
Dryopteris Filix mas	IV1	I+.1	II1	I+
Poa Chaixii	II+	I+	I+	—
d. Différentielles du L.F. festucetosum.				
Festuca silvatica	X3.4	II+.1	I+	I+
Polygonatum multiflorum	II+	—	—	—
Poa nemoralis	II+	—	—	—
Euphorbia amygdaloides	II+	—	—	—
Scrophularia nodosa	II+	—	—	—
Viola silvestris et riviniana	II+	—	—	—
Lamium Galeobdolon	III	—	—	—
Lactuca muralis	I+	—	—	—
Mercurialis perennis	I+	—	—	—
e. Différentielles du L.F. caricetosum.				
Juncus effusus	II+	X1	III+	IV+
Carex leporina	I+	VI1	I+	I+
Carex remota	I+	IX+.2	I+	I+
Deschampsia caespitosa	II+.1	IX1	II+	II+
Carex pallescens	I+	VIII1	II+	—
Carex muricata	—	II+	—	—
Agrostis alba	I+	II+	—	—
Lysimachia nemorum	I+	I+	—	—
Molinia coerulea	—	II+	—	—
f. Différentielles du L.F. vaccinietosum.				
Vaccinium Myrtillus	III+	V+	VI+.1	X3
Calluna vulgaris	—	—	—	II+
Leucobryum glaucum	—	—	—	II+
g. Principales compagnes.				
Rubus idaeus	VI1.2	VII1.2	VI1.2	III+
Rubus sp.	VII1.2	V1	V1	III+
Agrostis vulgaris	III+	VIII1	IV+	III+
Epilobium angustifolium	III+	VI+.1	III+.1	I+
Digitalis purpurea	III+	IV+	I+	—
Galeopsis tetrahit	II+	I+	III1	—
Thuidium tamariscinum	I+	I+	I+	I+

ment (1). Le charme existe fréquemment par brins isolés, mais le régime de taillis sous futaie qui a prévalu dans certaines stations du *Luzulo-Fagetum festucetosum*, a pu grandement le favoriser ; c'est particulièrement le cas dans les versants des grandes vallées, à basse altitude, où l'on trouve encore actuellement des chênaies-hêtraies à charme et même des charmaies à *Festuca silvatica*, qui ne possèdent aucun des éléments du *Querceto-Carpinetum*. Les relevés 27, 28 et 29 du tableau II en constituent des exemples suggestifs.

Les autres constituants de la souille ligneuse sont le coudrier, le sorbier, le sureau à grappes, plus rarement le saule-marsault et le houx. Ces espèces n'existent que par pieds isolés et leur fréquence est faible.

2. *Organisation phytosociologique*

Le tableau II reproduit la composition d'une trentaine de relevés-types, provenant des divers territoires de l'Ardenne. Parmi les différentielles marquantes de la hêtraie à fétuque, il faut signaler *Festuca silvatica* lui-même et son cortège d'espèces mésotrophes *(Oxalis, Anemone nemorosa, Poa nemoralis, Polygonatum multiflorum*, etc.).

Trois variantes floristiques peuvent être distinguées : l'une à *Lamium Galeobdolon* (Relevés 1 à 8), l'autre à *Milium effusum* (Relevés 9 à 20), une troisième, sans différentielles propres : variante *typique* (relevés 21 à 29). Leur signification est discutée ci-après.

3. *Localisation et répartition*

La grande majorité des hêtraies à fétuque occupent les versants abrupts des vallées, aux expositions ombragées, de NW à l'E, mais elles transgressent aussi sur les pentes moins inclinées et jusqu'en bordure des plateaux, sur les sols bruns acides filtrants et caillouteux. Les trois variantes s'ordonnent souvent en zonation sur les versants, la variante typique occupant le sommet, la variante à *Lamium* la base et la variante à *Milium* les situations intermédiaires. C'est également celle-ci qui domine sur les pentes faibles à substrat schisto-phylladeux plus compact, notamment sur les schistes de Saint-Hubert (Gedinnien G_{2a}) et le Siegenien du Bassin de Neufchâteau (Forêt d'Anlier notamment). Dans ces conditions, le charme et *Poa Chaixii* sont souvent présents pour des raisons qui tiennent, croyons-nous, au tempérament des sols (tendance vers le *Querceto-Carpinetum luzuletosum).*

(1) C'est une des raisons pour lesquelles nous ne pouvons retenir ici l'interprétation de C. VANDEN BERGHEN (1953) qui considère les hêtraies à fétuque comme une variante « acidifiée » de l'*Acereto-Fraxinetum* (ETTER, 1947). Le fait que les deux groupements sont quelquefois enchâssés dans un même site physiographique et se trouvent en contact sur certains versants (Bassin de Laroche, notamment), n'autorise nullement à les confondre, au point de vue phytosociologique, dans une même unité naturelle. Leur composition floristique diffère profondément, aussi bien que la nature de leur sol ; sol brun acide sous la hêtraie à fétuque, sol brun eutrophe, d'origine colluviale et plus ou moins calcarifère, sous l'*Acereto-Fraxinetum*.

4. *Pédologie*

La hêtraie à fétuque occupe des sols bruns acides, dépourvus d'horizon induré en profondeur, relativement caillouteux, meubles et bien aérés. Les particularités lithologiques et chimiques de la roche-mère se reflètent à la fois dans la composition du tapis herbacé et la hauteur totale des arbres. En particulier, les trois variantes que nous avons distinguées correspondent à trois niveaux bien apparents de fertilité.

1° Dans la variante à *Lamium Galeobdolon*, l'humification des litières est rapide et complète et les infiltrations humifères dans le sol sont nettement visibles jusque 25-30 cm (A_1) ; cet horizon présente une bonne structure grumeleuse et son pH est généralement voisin de 5,5 (1) ; en profondeur, dans l'horizon A/C, il est compris entre 5 et 5,5. La relative fertilité de ces hêtraies, s'explique par leur situation topographique, au bas des versants (origine colluviale du sol, meilleur régime hydrologique).

2° La variante à *Milium* et *Poa Chaixii* est moins fertile. La décomposition des litières produit un humus du type « moder » et l'horizon d'infiltration humifère (A_1), de couleur brunâtre, ne dépasse pas 20 cm. Le pH est généralement compris entre 5 et 5,5, exceptionnellement plus bas (4,5), ou plus élevé (5,5 — 6) ; en profondeur, le profil s'éclaircit notablement à partir de 30 cm et devient plus pierreux ; vers 50 cm on atteint la zone d'altération de la roche-mère, dure et imperméable aux racines.

3° Dans la variante typique, l'humification est plus lente encore et les litières s'accumulent davantage ; les infiltrations humifères sont rarement visibles au-delà de 20 cm et l'horizon A_1, de teinte plus noire, est également plus acide (pH 4,5 à 5) ; en profondeur, dans l'horizon A/C, on relève des valeurs comprises entre 5 et 5,5. La variante typique occupe de préférence les sols squelettiques du haut des versants et domine dans les niveaux gréso-quartziteux ou quartzito-phylladeux ; elle correspond aux stations les plus sèches.

Dans certaines situations, trop exposées à l'action des vents, ceux-ci enlèvent les litières et dessèchent la surface du sol. Les qualités de l'humus s'altèrent et ce dernier se transforme en « mor ». Une telle modification peut entraîner localement une mobilisation du fer dans le sommet du profil et la formation d'un horizon ocreux (passage au sol brun podsolique). Il s'agit là d'un processus de podsolisation superficielle, sans effet notable sur la croissance des arbres, mais qui retentit d'une manière directe sur les possibilités de régénération et sur la composition du tapis herbacé. Celui-ci s'éclaircit jusqu'à disparaître complètement, seules les plages à *Polytrichum formosum* subsistent. Ce faciès de dégradation, d'origine microclimatique, est peu répandu.

(1) Tous les pH mentionnés sans autre indication ont été mesurés sur le terrain au moyen du « Soil Tester » de Truogg (méthode colorimétrique). Les valeurs obtenues sont en général supérieures d'une demi-unité de pH aux mesures potentiométriques, effectuées au laboratoire.

La qualité des humus dans la hêtraie à fétuque a fait l'objet de quelques mesures qui nous sont communiquées par J. CALEMBERT ; elles portent sur la variante à *Milium* (3 stations) et sur la variante typique (16 stations). La variante à *Lamium* n'a pas été inventoriée. Les stations appartiennent à l'Ardenne Centrale (région de Saint-Hubert). Les pH ont été déterminés au potentiomètre.

	Variante à Milium	*Variante typique*
Horizon humifère A_1 (0-3 cm)		
— pH (H_2O)	4,1— *4,2*— 4,5 (1)	3,7— *3,9*— 4,2
— rapport C/N	11 —*11,2*—11,4	14,4—*16,4*—18,7
Horizon humifère A_1 (10-15 cm)		
— pH (H_2O)	4,2— *4,4*— 4,5	3,9— *4,4*— 4,7
— rapport C/N	10,9—*11,3*—12.1	12,4—*14,8*—17,8

Ces valeurs sont comparables à celles qu'ont relevées G. MANIL et al. (1953) pour une hêtraie d'un type intermédiaire entre la variante typique et la variante à *Lamium*. Les moyennes et extrêmes du pH et du rapport C/N sont les suivants pour cette station (10 échantillons).

pH (H_2O) de l'horizon humifère	
— couche superficielle (vers 5 cm)	3,58 — *4,11* — 4,45
— couche moyenne (vers 15 cm)	3,69 — *4,14* — 4,23
— couche profonde (vers 30 cm)	4,10 — *4,29* — 4,42
C/N de l'horizon humifère	
— couche superficielle	7,21 — *11,14* — 12,51
— couche moyenne	8,39 — *10,89* — 12,17
— couche profonde	5,88 — *7,82* — 8,70

Ces mêmes auteurs signalent, entre autres caractères, la présence générale de nitrates dans l'horizon humifère.

5. *Valeur forestière*

La hêtraie à fétuque est un milieu très propice à la croissance du hêtre, qui atteint des hauteurs totales comprises entre 28 et 31 m dans la variante typique, 31 à 33 m dans la variante à *Milium* et 33 à 35 m dans la variante à *Lamium*.

D'après P. DAGNELIE (1956), les accroissements moyens annuels en bois fort atteignent respectivement 5 à 5,5 m^3, 5,5 à 6 m^3 et 6 à 6,5 m^3 par Ha.

La régénération du hêtre est vigoureuse et aisée à obtenir ; elle nécessite des ouvertures moins larges et moins d'éclairement que dans

(1) Moyenne et extrêmes.

les autres types de hêtraies. Elle peut être déficitaire dans les vieux peuplements à couvert trop relevé, où la fétuque constitue des herbages étendus et touffus, qu'il s'imposera quelquefois de détruire dans les aires d'ensemencement.

Parmi les essences indigènes susceptibles d'être cultivées dans la hêtraie à fétuque, il faut signaler l'érable sycomore et, dans la variante à *Lamium*, l'orme de montagne. Ces stations constituent aussi un milieu de choix pour les résineux à feuilles tendres, *Pseudotsuga Douglasii* et surtout *Abies alba*. Les résineux sclérophylles, tels que l'épicéa, sont à proscrire, pour des raisons de conservation du sol.

B. LA HETRAIE HUMIDE A LUZULE BLANCHE
(Luzulo-Fagetum caricetosum)

1. *Composition du peuplement ligneux.*

Il s'agit encore d'une forêt mixte de hêtre, chêne sessile et érable sycomore. dans laquelle cependant ces deux dernières essences, en particulier le chêne sessile, sont sporadiques. Le chêne pédonculé a été observé quelquefois, le frêne une seule fois. Le charme est rarissime et la souille réduite à quelques brins isolés de *Sorbus Aucuparia*, *Salix caprea* et *Betula pubescens*.

2. *Organisation phytosociologique* (Tableau III)

Le tapis herbacé est généralement dominé par *Luzula nemorosa*, tandis que *Festuca silvatica* est sporadique et toujours peu abondant (coefficient 1 au maximum). Les différentielles comprennent :

Carex remota
Carex pallescens
Carex leporina
Carex muricata
Juncus effusus
Deschampsia caespitosa
Agrostis alba.

Ces espèces sont généralement peu abondantes, mais elles se multiplient en plages dans les trouées et sur les voies de débardage. où elles sont favorisées par la lumière, le tassement du sol et une légère remontée du plan d'eau.

Par ailleurs, le tableau phytosociologique fait apparaître deux variantes, l'une à *Milium effusum* et *Oxalis acetosella*, plus fertile (Relevés 1 à 10), l'autre sans différentielles propres et plus pauvre, où les espèces acidophiles comme *Deschampsia flexuosa*, *Carex pilulifera* et *Dicranella heteromala* sont davantage représentées (variante typique : relevée 11 à 22).

3. *Localisation et répartition*

La hêtraie humide à luzule blanche est surtout répandue sur les plateaux de la Haute Ardenne, dans l'aire des sols bruns acides à hori-

zon induré en profondeur ; elle est localisée en auréole autour des fangettes et des tourbières, où elle constitue une forêt de transition entre la hêtraie typique à luzule *(L. F. typicum)* et la chênaie pédonculée des sols à gley superficiel *(Querceto roboris-Betuletum dryopteridetosum)*.

Dans l'Hertogenwald, la hêtraie humide des sols d'altération du Revinien (phyllades) forme, dans certains cantons, de véritables mosaïques avec la chênaie pédonculée à *Dryopteris* et même la forêt tourbeuse à bouleau pubescent. Le plateau de la Croix Scaille (phyllades reviniens) offre localement des aspects analogues.

4. *Pédologie*

La hêtraie humide à luzule blanche correspond à des sols bruns acides à drainage imparfait et horizon induré en profondeur. Le sol peut être gleyifié à partir de 40-60 cm, quelquefois déjà, aux abords des dépressions, entre 30 et 50 cm.

Les deux variantes distinguées précédemment correspondent à deux niveaux de fertilité.

1° Dans la variante à *Milium* et *Oxalis*, l'humification est normale et du type « moder ». Les infiltrations humifères se perçoivent jusqu'à 15-20 cm de profondeur et le pH de l'horizon A_1 est compris entre 4,5 et 5 ; en profondeur, dans l'horizon gleyifié, il atteint 5 à 5,5. Quelques mesures du rapport C/N donnent des valeurs échelonnées entre 8 et 13 dans l'horizon humifère (J. Calembert).

La relative fertilité de ces sols paraît résulter, tout au moins dans certains cas, d'une charge loessique appréciable.

2° Dans la variante typique, l'humification des litières est déficiente. Des plages d'humus brut (A_0) se forment par endroits ; sous ces dernières on observe souvent une couche décolorée et blanchâtre, de 1 à 3 cm, limitée à la base par des précipitations ferrugineuses du type gley ; cette formation, qu'on peut qualifier de « microgley », correspond à une dégradation superficielle et va de pair avec l'extension des herbages à Carex et des causes qui la provoquent.

Le pH des horizons humifères varie entre 4,2 et 4,5 et se relève à 4,5 - 5 en profondeur.

La variante typique correspond en général à des limons siliceux avec charge loessique nulle ou peu prononcée.

Notons que sur Revinien, la variante typique est moins fertile encore ; ici, *Carex remota* manque généralement parmi les différentielles ; le traitement en futaies claires (anciennes chênaies notamment) favorise l'extension à bref délai de la myrtille, de la fougère aigle et même de la molinie. Des faciès de ce genre sont assez communs dans l'Hertogenwald, où l'aménagement en chênaie a souvent prévalu, soit en raison du pâturage en forêt, soit en vue de la production des écorces.

5. *Valeur forestière*

La hauteur totale des dominants est comprise, pour le hêtre, entre 28 et 32 m (moyenne 30 m) dans la variante à *Oxalis* et à *Milium*, 26 et à 30 m (moyenne 28 m) dans la variante typique. Pour le Plateau de Saint-Hubert, où la hêtraie humide occupe d'assez grandes surfaces, P. Dagnelie (1956) donne, pour la variante typique, 27,8 m pour la hauteur moyenne des plus gros bois, soit un accroissement moyen annuel en bois fort de 5 m^3 par Ha et par an. On doit atteindre 5,5 m^3 dans la variante à *Oxalis* et *Milium*.

Les hêtraies sur Revinien sont de qualité inférieure, avec une hauteur totale de 25-26 m.

La régénération du hêtre est souvent gênée par les herbages de *Carex* qui envahissent les peuplements à couvert trop élevé ou se multiplient dans les trouées ou sur les sols tassés par la charroi. L'incorporation d'essences compagnes est, de ce fait, quelquefois nécessaire. On choisira notamment l'érable sycomore et le sapin argenté. L'introduction de l'épicéa est dangereuse : l'humus brut qu'il produit peut entraîner, à bref délai, des processus podsolisants préjudiciables à l'aération de l'horizon gleyifié. Il importe aussi de canaliser les opérations de débardage, pour éviter un tassement généralisé du sol.

C. LA HETRAIE TYPIQUE A LUZULE BLANCHE
(Luzulo-Fagetum typicum)

1. *Composition du peuplement ligneux*

Cette hêtraie est une forêt mixte de hêtre et chêne sessile, dans laquelle l'érable est presque totalement absent. Le degré d'abondance du chêne sessile est assez variable et dépend en bonne partie du régime antérieur de la forêt (taillis sous futaie). D'une façon générale, sa proportion augmente à mesure que l'altitude s'abaisse.

Les essences du sous-bois ne comportent guère que le sorbier, le sureau à grappes (surtout dans les trouées), rarement des pieds isolés de bouleau verruqueux. Le charme est exceptionnel, le coudrier totalement absent.

En Haute et Moyenne Ardenne, on trouve des chênaies sessiliflores (anciens taillis à écorce) qui constituent certainement des forêts de substitution du *Luzulo-Fagetum typicum* (Geitzbusch, sur le plateau de la Baraque Michel, par exemple).

2. *Organisation phytosociologique* (Tableau IV)

La luzule blanche domine dans le tapis herbacé, associée à *Dryopteris spinulosa, Polytrichum formosum, Deschampsia flexuosa* et *Carex pilulifera*. *Vaccinium Myrtillus* est souvent présent mais par groupes

isolés, d'un recouvrement total très faible (+ à 1) ; son lien avec le chêne sessile est frappant : dans la mosaïque du sous-bois, ses plages se rassemblent au pied de cette essence.

Deux variantes floristiques sont à distinguer, l'une à *Oxalis acetosella* et *Milium effusum* (Relevés 1 à 14), l'autre typique, sans différentielles propres, où les espèces acidiphiles sont le plus abondantes (Relevés 14 à 30).

3. *Localisation et répartition*

La hêtraie typique à luzule est très largement répandue sur les plateaux de l'Ardenne ; elle occupe aussi les versants peu inclinés (jusqu'à 20°), aux expositions ombragées.

En dessous de 400 m, elle cède progressivement la place à des chênaies sessiliflores à luzule soit naturelles, soit dérivées de la hêtraie par un traitement séculaire orienté vers la culture du chêne *(Luzulo-Quercetum sessiliflorae)*.

4. *Pédologie*

La hêtraie à luzule occupe assez souvent, tout au moins sur les plateaux supérieurs (au-dessus de 450 m), des sols bruns acides à horizon induré. Ce dernier peut montrer des fines traces de gleyification et prendre l'aspect panaché qu'on lui connaît dans les aires gréso-quartziteuses (1).

En Moyenne Ardenne, la hêtraie typique à luzule peut aussi occuper des sols bruns acides sans horizon induré, dérivés de substrat schisto-phylladeux ; par contre, sur les niveaux gréso-quartziteux et moins argileux, elle est remplacée par des hêtraies et des chênaies sessiliflores à myrtille, dont nous parlerons ci-après.

1° La variante à *Oxalis* est la plus fertile ; les litières s'y décomposent régulièrement et produisent un humus du type « moder ». Les infiltrations humifères sont souvent limitées aux 10-15 premiers cm ; le profil s'éclaircit rapidement en profondeur et prend une teinte d'un brun clair (« limon jaune »). Le pH est toujours voisin de 5 dans l'horizon A_1, et atteint 5 à 5,5 à partir de 20-30 cm.

2° La variante typique est plus sèche et, très fréquemment, les litières s'accumulent en phase d'ombre, en produisant un humus brut peu épais (1-2 cm tout au plus), rapidement consommé dans les trouées et les éclaircies, qu'envahissent, du reste, le sureau à grappes, le framboisier, la digitale et l'épilobe. On ne peut donc parler de « mor » proprement dit.

Les infiltrations humifères dans le sol minéral sont limitées aux premiers centimètres, qui prennent une teinte noirâtre et tranchent

(1) Dans ce cas, la strate herbacée comporte souvent quelques différentielles très disséminées de la hêtraie humide à Carex ; celles-ci occupent surtout les voies de charroi.

assez brutalement sur le limon jaune sous-jacent. Le pH de cet horizon reste compris entre 4,2 et 4,5 ; dans le limon jaune, le pH se relève jusqu'à 5 - 5,5.

La moindre fertilité de cette variante résulte soit d'un drainage plus actif, soit d'un caractère siliceux plus prononcé ; la charge loessique est probablement toujours faible.

Voici, d'après J. CALEMBERT, quelques déterminations relatives à la qualité des humus, en Ardenne Centrale (Plateau de Saint-Hubert).

Horizon d'humus brut	*Variante à Oxalis* (4 stations)	*Variante typique* (5 stations)
— pH (H_2O)	—	3,4 — *3,6* — 4
— rapport C/N	—	14,5 — *17* — 20,4
Horizon A_1 (0-5 cm)		
— pH (H_2O)	3,5 — *4* — 4,3	3,6 — *3,7* — 4
— rapport C/N	10,4 — *13,5* — 15,7	13,9 — *16,2* — 19
Horizon A_2 (10-20 cm)		
— pH (H_2O)	3,9 — *4* — 4,2	4,3 — *4,4* — 4,8
— rapport C/N	12,8 — *12,85* — 12,9	14,8 — *15,4* — 16,6

Il est probable que dans les hêtraies typiques à luzule, le cycle d'humification soit en étroite relation avec la mosaïque du tapis herbacé. Quelques sondages relatifs au rapport C/N semblent montrer, en effet, que ce dernier se modifie parallèlement à la succession des espèces, laquelle s'effectue schématiquement comme suit : litière morte ⟶ polytric et *Carex pilulifera* ⟶ luzule blanche.

5. *Valeur forestière*

La hauteur moyenne des dominants est comprise, pour le hêtre, entre 26 et 30 m, la variante typique occupant la frange inférieure, la variante à *Oxalis*, la frange supérieure de l'amplitude. L'accroissement moyen annuel par Ha doit se situer entre 4,3 et 4,8 m^3 à l'Ha (P. DAGNELIE, 1956). P. REGINSTER (1955) cite, sur la base de parcelles expérimentales, 4 à 5 m^3. Ces données concernent principalement la variante typique ; les chiffres sont peut-être légèrement supérieurs pour la variante à *Oxalis*.

La régénération est aisée et partout vigoureuse, à l'abri du gibier.

La hêtraie typique à luzule n'en demeure pas moins un milieu forestier relativement pauvre et, plus qu'ailleurs encore, la sylviculture doit viser à y conserver un potentiel de fertilité qui repose en ordre principal sur l'équilibre biologique des sols. Il est évident que l'im-

plantation de résineux sclérophylles, comme l'épicéa ou le pin, ne peut être que nuisible, surtout si elle est massive. Il est non moins certain que la culture des essences de lumière, l'aménagement en chênaie par exemple, se solde à bref délai par un développement de la myrtille : il existe de nombreux exemples de ce genre et nous en reparlerons ci-après.

Un autre type de dégradation que la cartographie des hêtraies a mis en évidence, résulte de l'influence du vent et de l'éclairement latéral tout le long des lisières ou des chemins ; il se manifeste par des franges d'envahissement de la myrtille qui s'étend en nappe vers l'intérieur des peuplements, sur une profondeur de 100 à 200 m. Une judicieuse politique d'abri pourrait y remédier. Parmi les essences étrangères susceptibles d'être associées aux feuillus naturels, on peut citer les résineux à feuilles tendres *(Abies, Pseudotsuga)*.

D. LA HETRAIE A LUZULE ET MYRTILLE
(Luzulo-Fagetum vaccinietosum)

1. *Composition du peuplement ligneux*

Il s'agit encore d'une forêt mixte de hêtre et de chêne sessile, dans laquelle cette dernière essence est souvent plus abondante que dans les autres types du *Fagetum*. Le sous-bois ne comporte guère que le sorbier.

2. *Organisation phytosociologique* (Tableau V, relevés 1 à 16)

La luzule blanche est ici beaucoup moins abondante que dans les autres types de hêtraies et répartie en mosaïque avec *Polytrichum formosum*, *Carex pilulifera* et les deux dominantes du tapis végétal, *Vaccinium Myrtillus* et *Deschampsia flexuosa*. *Pteris aquilina* apparaît dans les peuplements les plus clairs, mais uniquement dans les bouquets de chêne sessile.

3. *Pédologie*

Les hêtraies à luzule et myrtille constituent, dans certains cas, des types d'altération microclimatique du *L. F. typicum* et de *L. F. caricetosum* et procèdent alors, soit d'une culture séculaire du chêne aux dépens du hêtre, soit de l'influence mésoclimatique des lisières, des trouées ou des tourbières (éclairement latéral, pénétration du vent). En faisant obstacle à la régénération du hêtre, ces circonstances favorisent l'envahissement des espèces semi-héliophiles, la myrtille et la canche flexueuse. La transformation du sous-bois se traduit, sur le plan pédologique, par la production d'humus brut, la mobilisation du fer et la podsolisation des horizons superficiels. Le sol évolue insensiblement vers le type brun podsolique (ou sol brun ocreux) qui se superpose, dans ce cas, au sol brun acide du *Luzulo-Fagetum* correspondant.

Ailleurs, la hêtraie à luzule et myrtille paraît correspondre à la vocation naturelle du terrain. C'est le cas sur les sols les plus pauvres,

quoique profonds, souvent dérivés de roches à dominance siliceuse. Les conditions d'humification y sont comparables à celles des hêtraies de dégradation et il n'est guère possible de les distinguer de ces dernières, sans procéder à une étude approfondie du profil pédologique. On y retrouve les mêmes caractéristiques édaphiques : humus brut, légère mobilisation du fer et passage au sol brun podsolique.

Dans toutes les hêtraies à luzule et myrtille, le sol oscille entre le type brun acide et le type brun ocreux ; les stigmates de la podsolisation sont plus ou moins visibles selon les conditions locales de lithologie et selon l'histoire forestière du peuplement. L'humus brut ou « mor » est lui-même réparti en plages discontinues et d'étendue variable ; l'horizon d'infiltration humifère est court (2-3 cm) et souvent de couleur violacée ; par endroits, surtout sous le couvert de la myrtille, on observe sous le « mor », des lentilles décolorées de micropodsolisation. Le pH est compris entre 4 et 4,5 dans les couches humifères, entre 4,5 et 5 en profondeur.

4. *Valeur forestière*

La hauteur totale du hêtre est généralement comprise entre 23 et 26 m ; elle est donc inférieure aux hauteurs observées dans les variantes les plus pauvres de *L. F. typicum* et du *L. F. caricetosum* dont peuvent dériver, comme nous l'avons vu, les hêtraies à luzule et myrtille. Les accroissements annuels moyens en bois fort s'échelonnent entre 3,5 et 4,5 m^3, avec une valeur moyenne de 4 m^3 (P. Dagnelie, 1956).

La régénération de la hêtraie à luzule et myrtille est encore possible mais souvent difficile et irrégulière. Il conviendra en toutes circonstances de lutter contre les causes de dégradation microclimatique par une judicieuse politique d'abri. L'incorporation d'essences étrangères s'avérera indispensable dans beaucoup de situations ; la création de bouquets d'épicéa destinés à fermer les trouées ou protéger les lisières est une solution logique et fréquemment adoptée dans les hêtraies domaniales. Le sapin pectiné pourrait être utilisé dans le même but, n'étaient les difficultés que rencontre l'introduction d'une essence aussi délicate, dans des situations mal préparées.

Le chêne sessile est également susceptible de fournir, dans ces stations, des résultats satisfaisants, tout au moins en Moyenne Ardenne ; mais sa culture pose un problème subsidiaire : celui d'étoffer le sous-bois et de faire obstacle à l'envahissement de la myrtille.

E. LA HETRAIE A MYRTILLE ET CANCHE FLEXUEUSE
(Quercetum sessilifloreae-Betuletum)

1. *Organisation phytosociologique* (Tableau V, relevés 17 à 35)

Cette hêtraie très pauvre, où la luzule blanche est absente, est caractérisée par un tapis quasi continu de *Vaccinium Myrtillus* et

Deschampsia flexuosa. Le chêne sessile et le hêtre se partagent la dominance.

Ce type de forêt ne peut plus être incorporé au *Luzulo-Fagetum* dont il ne comporte aucune différentielle. Nous le considérons comme un faciès du *Quercetum sessiliflorae-Betuletum*, enrichi en hêtre soit par l'homme (sélection, plantation) soit d'une manière spontanée ; en effet, des semis de hêtre prennent pied sporadiquement sous le chêne et si la régénération paraît, dans l'optique du sylviculteur, nettement déficitaire, elle serait néanmoins suffisante, dans les conditions naturelles, pour assurer le renouvellement du peuplement.

Deux variantes peuvent être distinguées : l'une typique, répandue sur les plateaux et les versants peu inclinés à sols gréso-quartziteux relativement profonds; la seconde, à *Leucobryum glaucum*, propres aux versants ensoleillées (exposition sud à ouest), à sol gréso-quartziteux squelettique et très sec. Les deux variantes sont répandues dans toute l'Ardenne.

2. *Pédologie*

Les hêtraies à myrtille et canche flexueuse occupent des sols du type brun podsolique (brun ocreux), de nature gréso-quartziteuse, moyennement profonds dans la variante typique, squelettiques dans la variante à *Leucobryum*. Dans le premier cas, le profil est caractérisé par une couche de mor épais, un horizon d'infiltrations humifères très superficiel (1-2 cm), souvent remplacé par une frange grisâtre, décolorée par podsolisation. L'horizon ferrugineux (B) débute près de la surface et se prolonge jusque vers 20-30 cm de profondeur.

Dans le second cas (lithosols), l'horizon ferrique est très apparent et sa pigmentation plus prononcée ; il débute vers 7-8 cm de profondeur et s'étend jusqu'à 20-30 cm ; il est surmonté d'un micropodsol bien individualisé, comportant un mor très épais (3-5 cm), un horizon humifère très court (1-2 cm, pH 4) et un horizon décoloré grisâtre de 4 à 5 cm, quelquefois de 5 à 15 cm (pH 4) (1). Dans l'horizon B et sous ce dernier, le pH atteint 4,5 à 5.

Les caractéristiques des horizons humifères sont à peu près semblables dans les deux variantes. Voici les valeurs moyennes et extrêmes mesurées par J. Calembert (8 stations), en Ardenne septentrionale et centrale).

	pH (H_2O)	*Rapport C/N*
Horizon de « mor » (A_o)	3,4—*3,7*—4	22,4—*18,6*—17,1
Horizon humifère (A_1) : 0 à 5 cm	3,5—*3,9*—4,2	23,2—*19,3*—15
Horizon ferrugineux (B) : 10-20 cm	4 —*4,5*—5,1	18,4—*17,5*—15,7

(1) Dans ce cas extrême, observé sur quartzites, on passe insensiblement au podsol.

3. *Valeur forestière*

La croissance du hêtre est toujours déficitaire et sa hauteur totale comprise entre 20 et 24 m, dans la variante typique ; entre 17 et 22 m dans la variante à *Leucobryum*. Les accroissements moyens annuels en bois fort ne dépassent pas 3 à 3,5 m^3 par Ha.

Les hêtres ont presque toujours une forme défectueuse : ils sont fourchus, tordus, couverts de mousses et de lichens. Ils vieillissent prématurément et ont souvent le cœur rouge. Les produits ne conviennent que comme bois de chauffage.

La régénération est partout aléatoire sinon impossible.

La hêtraie à myrtille et canche flexueuse est donc un milieu peu propice à la culture du hêtre et son aménagement économique implique une transformation radicale des peuplements. Sans doute, peut-on maintenir le hêtre comme essence culturale, mais on ne peut baser sur lui une politique de production.

Le recours à des essences moins exigeantes, sous le rapport de l'économie en eau, paraît s'imposer. On peut songer au chêne sessile, au pin et peut-être aussi, dans la variante typique, au mélèze d'Europe et au chêne d'Amérique.

L'enrésinement massif par l'épicéa a été généralement préconisé et adopté pour valoriser les hêtraies à myrtille. Cette politique offre cependant un réel danger, en dehors des hauts plateaux de l'Ardenne ; la relative sécheresse des sols, aggravée en Moyenne Ardenne par une pluviosité moins élevée que sur les hauts plateaux, peut conduire à des accidents de pourriture rouge, qui ne manqueraient pas de se généraliser avec le temps.

Au demeurant, quelles que soient les essences adoptées, les croissances seront toujours faibles : l'application d'amendements peut être envisagée avec quelques chances de succès sur les plateaux à sol profond, dans lesquels l'économie en eau ne paraît pas, a priori, le facteur le plus restrictif de la production.

F. LES HETRAIES NUES

Nous désignons de la sorte des forêts de hêtre, pratiquement dépourvues de sous-bois et de couverture vivante, qui résultent le plus souvent d'un reboisement récent d'anciens essarts ou pâtures-sarts. Avec le temps, ces futaies sont envahies par la deschampsie flexueuse, qui forme des plages confluentes et bientôt généralisées. Ces types de forêts sont peu répandus, le boisement en épicéa, quelquefois en chêne sessile, ayant prévalu presque partout.

Dans ces hêtraies, les litières se décomposent très mal et produisent un « mor » souvent considérable qui confirme et accentue l'évolution

podsolique du sol. La production est elle-même souvent médiocre et voisine de celle des hêtraies à myrtille.

Les reboisements en chêne sessile se sont avérés, dans ces situations, plus avantageux et plus rentables que les reboisements de hêtre (P. Roisin, 1952).

La transformation des hêtraies nues doit s'inspirer des mêmes principes que le traitement des hêtraies à myrtille.

Principales caractéristiques des hêtraies ardennaises

Types phytosociologiques	Différentielles	Caractères écologiques	Composition	Hauteur totale des dominants	Production possible en bois fort (m^3/Ha/an)
I. Hêtraie acidiphile naturelle (Luzulo-Fagetum)	Luzula nemorosa	Sols bruns acides à profil AC ou A(B)C	—	—	—
A. Hêtraie à fétuque	Festuca silvatica	Sols bruns acides sans horizon induré (type AC), bien aérés, filtrants. Pentes plus ou moins fortes, aux expositions ombragées	Fagus, Quercus, Acer, Carpinus	—	—
a. Variante à Lamium	Lamium Galeobdolon, Dryopteris Filix mas, Athyrium Filix femina	Sols profonds du bas des pentes, à mull	Fagus, Quercus, Acer, Carpinus Ulmus	33-35 m	6-6,5 m^3
b. Variante à Milium	Milium effusum, Anemone nemorosa	Sols moins profonds des pentes moyennes; sols de plateaux schisto-phylladeux; moder	Fagus, Quercus, Acer, Carpinus	31-33 m	5,5-6 m^3
c. Variante typique	—	Sols superficiels des sommets de versants, lithosoliques, moder — mor	Fagus, Quercus, Acer	28-31 m	5-5,5 m^3
B. Hêtraie humide à luzule	Carex, remota, Carex pallescens, Carex leporina, Deschampsia caespitosa	Sols bruns acides à horizon induré et gley à partir de 40-60 cm. Plateaux humides	Fagus, Quercus, Acer	—	—
a. Variante à Milium	Milium effusum, Oxalis Festuca silvatica)	Sols relativement limoneux; moder	Fagus, Quercus, Acer	28-32 m	5-5,5 m^3
b. Variante typique	—	Sols relativement siliceux; moder — mor	Fagus, Quercus, Acer	26-30 m	4,5-5 m^3
C. Hêtraie typique à luzule	—	Sols bruns acides à horizon induré; sols bruns acides sans horizon induré, schisto-phylladeux. Plateaux ou versants peu inclinés	Fagus, Quercus	—	—
a. Variante à Milium	Milium effusum, Oxalis	Sols relativement limoneux - moder	Fagus, Quercus (Carpinus)	27-30 m	4,5-5 m^3
b. Variante typique	—	Sols plus siliceux; moder — mor	Fagus, Quercus	25-28 m	4,2-4,5 m^3
D. Hêtraie à luzule et myrtille	Vaccinium Myrtillus (abondant)	Sols bruns acides sans horizon induré, dominance gréso-quartziteuse, relativement profonds. Plateaux.	Fagus, Quercus	23-26 m	3,5-4,2 m^3
II. Chênaie sessiliflore enrichie en hêtre (Quercetum sessiliflorae - Betuletum)	Absence de Luzula nemorosa	Sols bruns podsoliques (bruns ocreux)	—	—	—
a. Variante typique	—	Plateaux et faibles pentes. Micropodsol de surface peu développé	Quercus, Fagus	20-24 m	3-3,5 m^3
b. Variante à Leucobryum	Leucobryum glaucum	Pentes ensoleillées, à lithosols. Micropodsol très développé	Quercus, Fagus	17-22 m	moins de 3 m^3
III. Hêtraie artificielle à Deschampsia flexuosa	Pas de tapis herbacé en phase d'ombre, canche flexueuse en phase de lumière	Reboisements de chênaies à bouleau ou d'essarts	—	généralement inférieur à 25 m	3,5 m^3

Tableau II

Localisation des relevés

	Numéro	Localité et lieu-dit	Alt.	Expos.	Substrat géol.
1	(3797)*	Senssenruth, Bichetour	350 m	NE/35°	Sieg. infér.
2	(7108)	Arville, Cô du Fays	315 m	N/10°	Ged. G_2b
3	(3421)	Wibrin, Bois d'Achouffe	430 m	ENE/25°	Sieg. infér.
4	(7361)	Arville, Cô du Fays	300 m	N/30°	Ged. G_2b
5	(8251)	Champlon, Bois de Champlon . . .	475 m	NNW/8°	Sieg. infér.
6	(6213)	Flamièrge, Celli	360 m	N/25°	Sieg. infér.
7	(7209)	Libin, Poix	360 m	NW/20°	Ged. G_2a
8	(3659)	Mabompré, Moudehan	350 m	E/25°	Sieg. moyen
9	(7130)	Arville, Thier de Gobaille	365 m	SW/1°	Ged. G_2b
10	(7033)	Saint-Hubert, Forêt de St-Michel . .	515 m	SSE/3°	Sieg. moyen
11	(8294)	Tenneville, Bois de Saint-Hubert . .	505 m	W/2°	Sieg. infér.
12	(3422)	Wibrin, Bois d'Achouffe	410 m	ENE/10°	Sieg. infér.
13	(8295)	Malvoisin, Gros Bois de Bièvre . .	410 m	E/1°	Ged. G_2a
14	(7301)	Membach, Gileppe	310 m	NNW/30°	Ged. Gc
15	(7177)	Smuid, Bois de Smuid	335 m	N/20°	Ged. G_2a
16	(7102)	Mirwart, Bois de Smuid	275 m	N/10°	Sieg. infér.
17	(3664)	Laroche, Bois de Laroche	490 m	—	Sieg. infér.
18	(9159)	Chanly, La Hez	360 m	N/2°	Sieg. infér.
19	(8009)	Bande, Bois de Bande	370 m	N/6°	Sieg. infér.
20	(9967)	Haut-Fays, Espageaux	380 m	N/5°	Ged. G_2b
21	(7781)	Membach, Vallée de la Soor . . .	450 m	E/35°	Révinien
22	(4500)	Saint-Hubert, Bois de St-Hubert . .	460 m	NNE/45°	Sieg. moyen
23	(4423)	Manderfeld, Losheimergraben . . .	600 m	E/7°	Ems. infér.
24	(7166)	Champlon, Bois de Champlon . . .	475 m	NNE/2°	Sieg. infér.
25	(7799)	Lomprez, Bois de Fays	420 m	SE/3°	Ged. G_2b
26	(3663)	Laroche, Vallée du Royen	400 m	N/30°	Sieg. infér.
27	(7178)	Smuid, Bois de Smuid	350 m	E/5°	Ged. G_2a
28	(4813)	Saint-Hubert, Bois de St-Michel . .	325 m	N/10°	Sieg. moyen
29	(3536)	Alle, Bois de Turbutiry	220 m	E/20°	Sieg. infér.

En outre :

R 2 : Brachythecium rutabulum (+), Lophocolea bidentata (+), Stellaria nemorum (1.1).
R 6 : Daphne Mezereum (+), Lonicera Periclymenum (+), Phyteuma spicatum (+), Galium aparine (+).
R 7 : Melica uniflora (+.3), Dactylis glomerata (+).
R 8 : Moehringia trinervia (1.1), Veronica officinalis (+), Eurhynchium striatum (+), Lactuca muror-um (1.1), Mnium undulatum (+), Ranunculus ac ris (+), Stellaria holostea (+.3), Sambucus nigra (+).
R 9 : Carex remota (1.2).
R 10 : Juncus effusus (+), Hypnum cupressiforme (+), Carex remota (+.2).
R 13 : Pteris aquilina (+).
R 14 : Mnium hornum (+).
R 19 : Lysimachia nemorum (+), Veronica officinalis (+.2), Agrostis alba (+.2), Carex pallescens (+.2).
R 20 : Carex pallescens (+), Carex remota (+).
R 22 : Juncus effusus (+), Dryopteris linneana (+).
R 23 : Veronica officinalis (+).
R 25 : Pteris aquilina (+.2).
R 26 : Mnium hornum (+.2), Fraxinus excelsior pl. (+).
R 29 : Isothecium myosuroides (+).

* Les numéros entre parenthèses correspondent aux numéros d'enregistrement dans la documentation du Centre de Cartographie phytosociologique.

Tableau III. — HETRAIE HUMIDE A

	VARIANTE A MILIUM ET OXALIS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I. Peuplement ligneux :								
A. Espèces des Fagetalia.								
Fagus silvatica A	4.2	3.2	5.5	4.4	4.4	5.3	4.4	5.3
a	3.4	+.3	2.3	1.2	+		2.3	4.4
j	2.1	1.1	2.2	1.1	1.1	2.1	3.3	1.1
Acer Pseudoplatanus A	+	+		1.1		+		+
j	+	1.2		2.1		2.1	+	1.2
Carpinus Betulus a/j								
Salix caprea a/j				+	+		+	
B. Espèces des Quercetalia :								
Quercus sessilis A	+	+	+				+	
j	+	+	+				+	
a				+				
Sorbus Aucuparia j		+		+			+	+
C. Compagnes :								
Picea excelsa pl.								
II. Strate herbacée :								
A. Différentielles régionales du Luzulo-Fagion :								
Luzula nemorosa	4.4	3.4	4.5	3.2	2.2	4.4	4.3	4.3
Dryopteris spinulosa	+	+	1.2		+	1.1	+	1.1
Polygonatum verticillatum.						+.3	+	
Festuca silvatica			1.2			+.3		
B. Différentielles des Fagetalia.								
Carex silvatica	+			+			1.2	
Dryopteris Filix mas							+	1.1
Athyrium Filix femina.			+	1.2		+	+.2	+
Catharinea undulata	+.2							
C. Différentielles du L.F. caricetosum :								
1. Carex remota	2.3	3.3	2.2	1.2	1.2	+	+	+
Juncus effusus	+.2	1.2	+.2	+.3	1.1		1.1	+
Deschampsia caespitosa.	2.3	+.2	1.2	+.3	+	+	+	
Carex leporina	+.2	1.2					+	+
Carex pallescens	+.2		+			+	+	+
Agrostis alba			1.2			+.3		
Carex muricata					+			
2. Oxalis acetosella	2.2	1.2	1.2	2.2	2.2	2.2	+	+.2
Milium effusum	1.2	1.2	1.2			2.3	1.2	1.2
Anemone nemorosa		1.2	+.2	+.3				
Lysimachia nemorum	+	+						
D. Différentielles acidiphiles :								
1. Deschampsia flexuosa	+			+			+.2	+
Carex pilulifera	+	+		2.2	2.2	+	1.2	+
Vaccinium Myrtillus	+						+	+.2
Hypericum pulchrum	+							
Luzula silvatica				+				
Galium saxatile								
Holcus mollis	+.2							+.2
2. Polytrichum formosum	1.2	+.2	2.2	2.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Dicranella heteromalla				+.2	1.2			
Dicranum scoparium	+.2						+.2	
Thuidium tamariscinum								
Hypnum cupressiforme				+.2			+.2	
E. Compagnes :								
Rubus idaeus	+	+		3.3	1.1	+	1.1	2.4
Rubus sp.				1.2	1.1		+	+.2
Digitalis purpurea		+		+.3				
Epilobium spicatum	+	+	+.2	2.1			+.2	+
Agrostis vulgaris	1.2		+	+		+	+.2	
Galeopsis tetrahit	+						+	

UZULE *(Luzulo-Fagetum caricetosum)*

	VARIANTE TYPIQUE											
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4.3 3.3 1.2 +.2 · +	5.4 2.2 2.1 1.1 1.1 +	4.1 +.2 4.5 + + +.2	4.4 +.2 + + + 3.4	4.3 1.2 1.1 + 3.2 +	4.2 + 4.4 + + 4.4 +	4.1 2.3 4.5 1.1 + 5.4 + +	5.5 1.1 1.1 2.2 1.2	5.5 1.1 + 3.3 +.2	5.1 2.3 + + 2.2	5.5 1.1 + + + +.2 +.2	5.1 1.3 1.1 + 2.4 +.3 +.2	2.2 3.2 1.1 1.2 4.1 2.2 3.4
·.2 ·.2 ·.2 .3 .3 .3	+.3 +.2 + +.2 + 1.2 +.2 1.1 + 1.2	1.2 +.2 +.2 +.2 1.3 + 1.1 +.2 + 1.2 1.2 +.2 1.1 +.2 1.2	1.2 1.3 + 1.2 2.2 1.2 2.3 1.2 + 1.2	2.2 2.3 1.2 2.3 1.2 +.3 1.2 1.2 + +.2 +.2 1.2 +.2 1.2	1.2 1.2 + 1.2 +.2 + +.3 + +.2 1.2 + +.2 1.2 +.2	1.2 +.2 + +.2 +.2 +.2 2.2 +.2 + +.2 +.2	3.2 1.2 1.2 +.2 +.2 1.2 +.2	1.2 1.1 + 1.2 1.2 1.1 1.1 1.1 +	+.2 +.2 1.2 +.2 3.3 2.2 1.2 + +.2	+ 1.2 +.2 2.2 1.2 +.2 1.2 +.2 1.2	+ 3.3 1.2 2.3 1.3 +.2 1.2 + + + +	1.2 + 3.3 1.2 2.2 1.1 + + +

Tableau III

Localisation des relevés

	Numéro	Localité et lieu-dit	Alt.	Expos.	Substrat géol.
1	(6509)	Lavacherie, Fange de la Hutte . .	490 m	NW/4°	Sieg. infér.
2	(6258)	Tenneville, Forêt de Freyr	540 m	NNW/1°	Sieg. moyen
3	(7370)	Saint-Hubert, Rouge Ponceau . . .	525 m	—	Sieg. moyen
4	(7137)	Mirwart, Aunoi	380 m	N/15°	Sieg. infér.
5	(4654)	Lavacherie, Forêt de Freyr	535 m	N/4°	Sieg. infér.
6	(8293)	Tenneville, Forêt de Freyr . . .	513 m	W/2°	Sieg. infér.
7	(9145)	Transinne, Bois de Transinne . . .	410 m	N/1°	Ged. (G_2a)
8	(7882)	Tenneville, Converserie	490 m	SE/1°	Sieg. moyen
9	(7035)	Saint-Hubert, Bois de St-Michel . .	520 m	—	Sieg. moyen
10	(6524)	Lavacherie, Planesse de Freyr . . .	525 m	N/1°	Sieg. moyen
11	(7968)	Champlon, Bois de Champlon . . .	475 m	—	Sieg. infér.
12	(6318)	Lavacherie, Golet	440 m	NE/1°	Sieg. infér.
13	(8052)	Beausaint, Bois de Vecmont	425 m	NE/5°	Sieg. infér.
14	(8556)	Villance, Goutelle	400 m	NNE/1°	Sieg. moyen
15	(6652)	Tenneville, Forêt de Freyr	450 m	NNE/2°	Ged. (G_2a)
16	(4811)	Lavacherie, Forêt de Freyr	500 m	—	Sieg. infér.
17	—	Saint-Hubert, Bois de St-Michel . .	510 m	S/2°	Sieg. infér.
18	(3640)	Samrée, Bois de Belhez	545 m	SW/3°	Sieg. moyen
19	(9874)	Membach, Hertogenwald	475 m	NE/6°	Sieg. infér.
20	—	Mirwart, Bois de Smuid	405 m	—	Révinien
21	(3420)	Wibrin, Bois d'Achouffe	470 m	E/3°	Ged. (G_2b)
22	(7158)	Tellin, Bois de Tellin	385 m	NE/1°	Sieg. infér.

En outre :

R 1 : Stellaria holostea (+.2). Moehringia trinervia (+).
R 5 : Entodon Schreberi (1.1).
R 7 : Poa pratensis (+).
R 8 : Pteris aquilina (+.2).
R 11 : Molinia coerulea (+).
R 12 : Populus tremula j. (+). Betula pubescens (+).
R 13 : Dryopteris dilatata (+).
R 18 : Poa nemoralis (+).

Tableau IV

Localisation des relevés

	Numéro	Localité et lieu-dit	Alt.	Expos.	Substrat géol.
1	(3692)	Samrée, Bois St-Jean	580 m	—	Ged. G_2
2	(4062)	Anlier, Forêt d'Anlier	460 m	—	Sieg. infér.
3	(8027)	Manderfeld, Losheimergraben	615 m	SE/4°	Ems. infér.
4	(6100)	Tenneville, Forêt de Freyr	525 m	ENE/2°	Sieg. moyen
5	—	Lavacherie, Bois de St-Hubert	480 m	N/10°	Sieg. moyen
6	—	Lavacherie, Forêt de Freyr	490 m	ESE/6°	Sieg. infér.
7	(8660)	Offagne, Bois de St-Hubert	410 m	—	Ged. G_2b
8	(9787)	Heppenbach, Hepscheid	560 m	W/4°	Sieg. supér.
9	(8030)	Manderfeld, Andler Berg	560 m	E/20°	Ems. moyen
10	(7136)	Arville, Cô du Fays	425 m	N/2°	Ged. G_2b
11	(8683)	Grupont, Bois Machy	395 m	NNW/3°	Emsien
12	(7869)	Elsenborn, Roerbusch	560 m	S/2°	Ged. G_2
13	(7871)	Membach, Geitsbusch	600 m	—	Révinien
14	(7148)	Grupont, Haut Caro	300 m	E/15°	Sieg. infér.
15	(6556)	Theux, Bois de Staneux	315 m	N/7°	Emsien
16	(9659)	Nieder Emmels, Emmelser Wald	540 m	N/2°	Sieg. infér.
17	(7883)	Muno, Forêt de Muno	425 m	SW/1°	Ged. G_2a
18	(9968)	Haut-Fays, Forêt de Haut-Fays	400 m	—	Ged. G_2b
19	(7089)	Arville, Cô du Fays	445 m	W/2°	Ged. G_2b
20	(9788)	Amblève, Bambusch	500 m	ESE/6°	Sieg. infér.
21	(8682)	Grupont, Bois Machy	380 m	S/2°	Ems. infér.
22	(8563)	Transinne, Vieille Taille	410 m	ENE/2°	Ged. G_2a
23	(9770)	Bullange, Richelbusch	610 m	S/7°	Sieg. infér.
24	(6172)	Moircy, Lambay-Fays	540 m	NNE/3°	Ged. G_2b
25	(4489)	Beausaint, Bois de Vecmont	500 m	ESE/3°	Sieg. infér.
26	(4424)	Heppenbach, Bois de Mirfeld	565 m	N/1°	Sieg. supér.
27	(7372)	Tenneville, Converserie	525 m	SE/3°	Sieg. moyen
28	(8296)	Born, Wolfsbuch	510 m	ESE/4°	Sieg. infér.
29	(4651)	St-Hubert, Les Abanages	545 m	E/5°	Sieg. infér.
30	(7951)	Nassogne, Bois de Nassagne	465 m	ENE/4°	Sieg. infér.

En outre :

R 2 : Sarothamnus scoparius (+).
R 3 : Veronica officinalis (+).
R 5 : Dryopteris linneana (1.2), Carex leporina (1.2).
R 6 : Rhytidiadelphus loreus (2.3), Thuidium tamariscinum (1.2).
R 7 : Viola riviniana (+).
R 8 : Sorbus Aria (+), Dryopteris dilatata (+).
R 11 : Salix caprea j. (+), Lamium Galeobdolon (+), Poa nemoralis (+), Veronica officinalis (+).
R 12 : Rhamnus frangula pl. (+).
R 13 : Trientalis europaea (+), Catharinea undulata (+), Betula pubescens (1.1).
R 15 : Agrostis alba (+), Mnium hornum (2.2).
R 16 : Sorbus Aria j. (+), Teucrium scorodonia (+.2).
R 17 : Quercus pedunculata (+).
R 20 : Catharinea undulata (+.2), Dactylis glomerata (+).
R 21 : Veronica officinalis (+).
R 23 : Poa nemoralis (+.2), Senecio nemorensis (+).
R 24 : Rhytidiadelphus loreus (+.2).
R 26 : Catharinea undulata (+), Sorbus Aria pl. (+), Quercus pedunculata pl. (+).
R 27 : Carex leporina (+).

E TYPIQUE

	23	24	25	26	27	28	29	30
I. Peuplement lig								
A. Espèces des								
Fagus silvat	5.5	5.2	5.1	5.1	5.5	3.1	3.3	5.5
			1.1	2.4	1.2	2.3	1.1	4.4
		1.1	1.1	2.1	1.1	1.2	1.1	1.1
Acer Pseud								+
Carpinus Be								
Sambucus ra	+			1.2				
B. Espèces des								
Quercus ses	1.1				+	1	1.2	+
							1.1	1.1
Sorbus Aucu	1.1			1 .1				
			+		+	+	+	
Betula verru				+				
Ilex Aquifoli								
C. Compagnes :								
Picea excels								
II. Strate herbacée								
A. Différentielle du Luzulo								
Luzula nemo	3.2	5.4	3.4	2.2	3.3	3.3	3.1	4.2
Dryopteris s		+	+.2	2.2		2.3	+	+
Polygonatum		+.2						
Calamagrosti								
Festuca silv								
B. Différentielle								
Athyrium F								
Carex silvat			+.2					
Dryopteris		1.1	1.2					
Polygonatum								
C. Différentielle typicum :								
1. Oxalis ac								
Milium ef								
Anemone								
Lonicera								
D. Différentielle								
1. Deschamps	2.3	2.3	+.2	1.2	1.2	+.2	1.2	1.2
Craex pilu			1.1		+.2	1.2	1.2	+
Vaccinium		1.3		+.2		+	1.2	1.2
Hypericum	+							
Galium sa						+		
Holcus m								+
Pteris aqu								
Majanthem								
Luzula pil								
2. Polytrichu	2.2	1.2	1.3	1.2	2.3	3.4	+	1.2
Dicranella	+.2							
Dicranum								+
Rhytidiade								
Thuidium								
Hypnum c								
E. Compagnes :								
Rubus ida	1.2			4.5		+ .2		
Rubus sp.		+	+	2.4	+.2			
Digitalis p			+					
Epilobium				+				
Agrostis v	+.3			1.3		1.2		+.2
Galeopsis					+.2	+.2		+.2
Juncus eff								
Deschamps	+							+
Carex pal								

NAIES SESSILIFLORES ENRICHIES EN HETRE (QUERCETUM SESSILIFLORAE - BETULETUM)

VARIANTE TYPIQUE										VARIANTE A LEUCOBRYUM							
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
5.5 +	5.5 + 1.1	2.2 1.2	5.4 +.3 +	4.3	4.2 2.1	4.2 1.2	5.5 +	4.1 3.1 2.1	4.1 +	4.4 i i	5.3 +	4.4 1.1	3.3 2.2	4.2 +.2 1.1	3.2 2.1 + +	4.4 2.2 1.1	3.2 2.2 1.1
+	1.1 + +		1.1		2.1	+	+ +	2.1 + + +		1.2	+	2.1 +	3.3 3.3	2.1 + + +	2.1 + + + + +	2.1 +	3.2 +
		3.4 1.1	+ +	i 2.1 1	1.1	3.3	+.2 +		1.1							+/1.2 1.1	
						+		+.2	+.2	+					+		+
3.2 1.1 4.4	2.2 4.4 1.2	1.2 5.5	4.4 1.2 2.3	2/3.2 + 2/3.3	2.2 5.5	2.4 + 4.5	3.3 2/3.3	2.2 5.4	2.4 2.1 2.4 2.3	1.2 1.2 +.3	2.2 1.2 1.3	1.2 5.5	2.2 1.3	4.3 1/2.4	2.2 5.4	2.3 1.2 3.4 +	3.3 1.2
-.2 -.2	+.2	2.3 3.3 1.2 +	1.2 +	2.2 1.2	+ 1.2	1.2 +	1.2 + +	+.2	2.2 2.2	2/3.2 +/1.2 +	1.2 +.2	2.2 +	2.3 2.3	1.2 +.2 3.3	2.2 3.3	1.2 2.2	1.2 1.2 1.2
	+.2 1.2		+.2	+.2	1.2					+/1.2 **1.2**	**1.2**	+ **1.2**	1.2 2.2 1.2 **1.3**	1.2 1.1 **2.2**	1.2 2.2 **2/3.2**	**2.2**	1.2 +.2 **2.2**
+			+ +	1.1			i	2.2		i +				+	+.3	+	

Tableau V
Localisation des relevés

	Numéro	Localité et lieu-dit	Alt.	Expos.	Substrat géol.
1	(8028)	Manderfeld, Losheimergraben . . .	625 m	S/4°	Emsien
2	(5931)	Tenneville, Converserie	530 m	—	Sieg. moyen
3	(4969)	Saint-Hubert, Forêt de Freyr . . .	540 m	—	Sieg. moyen
4	(7790)	Bras, Forêt de Warinsart	500 m	—	Cambrien
5	(6167)	Moircy, Bois de Lambay-Fays . .	495 m	NNE/1°	Ged. G_2b
6	(8283)	Beausaint, Bois de Vecmont . . .	425 m	NNE/5°	Sieg. infér.
7	(3214)	Nothomb, Derbous-Busch	475 m	—	Emsien
8	(7949)	Nassogne, Bois de Nassogne . . .	455 m	E/5°	Sieg. infér.
9	(4321)	Crombach, Bois d'Emmels	470 m	W/10°	Salmien
10	(8297)	Rienne, Croix Scaille	420 m	E/2°	Révinien
11	(3382)	Lierneux, Bois de Groumont	545 m	S/5°	Ged. G_2
12	(9907)	Eupen, Hertogenwald	400 m	N/6°	Révinien
13	(7264)	Theux, Bois de Staneux	330 m	NE/15°	Ged. G_2
14	(9876)	Membach, Hertogenwald, Gaesbeck .	400 m	NNE/30°	Révinien
15	(9908)	Eupen, Hertogenwald	390 m	N/20°	Révinien
16	(7371)	Saint-Hubert, Bilaude	510 m	SSW/30°	Sieg. moyen
17	(4787)	Saint-Hubert, Les Abanages . . .	495 m	NW/5°	Sieg. infér.
18	(6186)	Vesqueville, Sec Ruisseau	530 m	N/2°	Ged. G_2b
19	(4263)	Beho, Grand-Bois	535 m	S/2°	Ged. G_2
20	(4277)	Petit Thiers, Thiers d'Arsy	485 m	SE/15°	Salmien
21	(9936)	Jehonville, Forêt de Luchy	470 m	SE/3°	Ged. G_2b
22	(8058)	Beausaint, Bois de Vecmont	430 m	SSE/7°	Sieg. infér.
23	(8560)	Villance, Bois de Villance	420 m	NNE/3°	Ged. G_2a
24	(7125)	Arville, Au Champ du Mont . . .	400 m	SW/3°	Ged. G_2b
25	(6177)	Moircy, Lambay-Fays	537 m	W/2°	Ged. G_2b
26	(8568)	Miroir, Derrière la Haie	375 m	NNW/3°	Sieg. moyen
27	(4428)	Lierneux, Bois de Groumont . . .	550 m	S/15°	Ged. G_2
28	(9291)	Carlsbourg, Defoy	450 m	—	Ged. G_2b
29	(8562)	Transinne, Vieille Taille	440 m	S/2°	Ged. G_2a
30	(6523)	Lavacherie, Bois de Rogister . . .	450 m	W/10°	Sieg. infér.
31	(8059)	Beausaint, Bois de Vecmont . . .	425 m	S/10°	Sieg. infér.
32	(6841)	Malempré, Bois de Groupomont . .	330 m	W/15°	Ged. G_2
33	(7211)	Libin, Poix	350 m	W/25°	Ged. G_2a
34	(7251)	Arville, Bois de Saint-Hubert . . .	330 m	SW/25°	Sieg. infér.
35	(8262)	Bande, Thiers de la Pisserote . .	365 m	S/10°	Sieg. infér.
36	(9146)	Redu, Belle Taille	395 m	S/4°	Ged. G_2b

En outre :
R 3 : Milium effusum (+.2), Dryopteris Filix mas (1.1).
R 5 : Digitalis purpurea (+), Rumex angiocarpus (+), Galeopsis tetrahit (+.2), Epilobium angustifolium (+).
R 6 : Hypericum pulchrum (+), Anthoxanthum odoratum (+), Dryopteris Filix mas (+).
R 7 : Hieracium murorum (+).
R 9 : Corylus Avellana (+), Solidago virga aurea (1.1), Maianthemum bifolium (1.2).
R 10 : Agrostis alba (+.2), Carex muricata (+), Molinia coerulea (+).
R 11 : Sambucus racemosa (+), Quercus pedunculata j. (+), Epilobium angustifolium (+.2), Carex leporina (+), Galium saxatile (+.3).
R 12 : Mnium sp. (+.2), Plagiothecium sp. (+.2).
R 14 : Plagiothecium sp. (+.2).
R 15 : Quercus pedunculata (2.1).
R 17 : Melampyrum pratense (1.1).
R 20 : Eurhynchium praelongum (+), Brachythecium rutabulum (+.2).
R 22 : Holcus mollis (+.2).
R 24 : Epilobium angustifolium (+).
R 25 : Lonicera Periclymenum (+).
R 26 : Rumex angiocarpus (+).
R 72 : Abies pectinata (+).
R 28 : Carex remota (+), Lophocolea bidentata (+).
R 31 : Rhytidiadelphus triquetrus (+), Hylocomium splendens (1.2).
R 32 : Mnium hornum (+.2).
R 33 : Mnium undulatum (+.2), Hylocomnium splendens (2.2).
R 34 : Scrophularia nodosa (+).
R 35 : Cladonia chlorophaea (+.2).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASSELBERGHS, E. (1946). — L'éodévonien de l'Ardenne et des régions voisines. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain.* T. XIV.

BUDDE, H. und BROCKHAUS, W. (1954). — Die Vegetation des südwestfälischen Berglandes. *Decheniana* 102, B.

BUKER, R. (1942). — Beiträge zur Vegetationskunde des südwestfälischen Berglandes. *B. Bot. Centralblatt* 61, B.

DAGNELIE, P. (1956). — Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques. *Bull. Inst. agr. et Stat. Rech. Gembloux* (sous presse).

DECKERS, J. et VANSTALLEN, R. (1955). — Contribution à l'étude de la saturation en bases des sols bruns de l'Ardenne et de la Famenne. *Agricultura* Vol. III, 2me série, n° 3.

ETTER, H. (1947). — Ueber die Waldvegetation am Südostrand des schweizerischen Mittellandes. Mitt. schw. Anst. forstl. *Versuchswesen* XXV, 1.

GERARD, P. (1953). — Etude de l'évolution forestière dans la Principauté de Stavelot et dans le Comté de Salm. *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* Avril 1951.

GULLENTOPS, F. (1954). — Contribution à la chronologie du pléistocène et des formes du relief en Belgique. *Mém. Inst. Géol.* Univ. Louvain, T. XVIII.

HOYOIS, G. (1953). — L'Ardenne et l'Ardennais. *Ed. Univers.* Bruxelles-Paris.

JAHN, S. (1953). — Die Wald- und Forstgesellschaften des Hils-Berglandes (Forstamtsbezirk Wenzen). *Angew. Pflanzensoziologie* 5 Stolzenau/Weser.

LEBRUN, J., NOIRFALISE, A., VANDEN BERGHEN, C. et HEINEMANN, P. (1949). — Les associations végétales de Belgique. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, LXXXII, 1.

LOHMEYER, W. (1953). — Beitrag zur Kenntnis der Pflanzengesellschaften in der Umgebung von Höxter a. d. Weser. *Mitt. Flor.-soziol. Arbeitsgemeinschaft Niedersachsen*, Heft 3.

MANIL, G., COLLIN, E., EVRARD, R. et GRUBER, R. (1953). — Les sols forestiers de l'Ardenne. Le Plateau de Saint-Hubert-Nassogne. (Première étude). *Bull. Inst. agr. et Stat. Rech. Gembloux.* T. XXI, 3-4.

MANIL, G. et PECROT, A. (1954). — Les sols forestiers oligotrophes du climax des Ardennes belges. *C. R. IIme Congrès Int. Sc. du Sol.* Léopoldville 1954. Vol. IV.

MEISEL-JAHN, S. (1955). — Die Pflanzensoziologische Stellung der Hauberge des Siegerlandes. *Mitt. Flor.-soziol. Arbeitsgemeinschaft.* N. F. Helft 5.

MULLENDERS, W. (1954). — La position phytogéographique des hauts plateaux belges. *Vegetatio.* Vol. V et VI.

NOIRFALISE, A. (1948-49). — Premier aperçu sur l'étage du hêtre et les types de hêtraies en Haute Ardenne. *Bull. Inst. agr. et Stat. Rech. Gembloux.* T. XVII, p. 76-100. — *Comm. 10 du Centre de Rech. Ecol. et Phytos. Gembloux.*

NOIRFALISE, A. et GALOUX, A. (1950). — Les étages de végétation dans l'Ardenne belge. *Comm. 11 du Centre de Rech. Ecol. et Phytos. Gembloux.*

PECROT, A. et AVRIL, P. (1954). — Les sols ardennais. Etude morphologique et génétique des sols bruns acides et des sols podsoliques du Plateau de Saint-Hubert. *Bull. Inst. agr. et Stat. Rech. Gembloux.* T. XXII, nos 1-2.

PIERLOT, R. (1950). — Etude écologique des bois d'Alle-sur-Semois (inédit).

PONCELET, L. et MARTIN, H. (1947). — Esquisse climatographique de la Belgique. *Mém. Inst. Roy. Météorol. Belgique.* Vol. XXVII.

REGINSTER, P. (1955). — La productivité stationnelle des hêtraies d'Ardenne. *Bull. Soc. Roy. Forest. Belgique.* N° 1.

ROISIN, P. (1952). — La réforestation d'un sart en Ardenne. *Bull. Soc. Ray. For. Belgique.* N^{os} 8-9.

SEIBERT, P. (1955). — Die Niederwaldgesellschaften des südwestfälischen Berglandes. *Allg. Forst- und Jagdzeitung* 126, 1.

SCHWICKERHATH, M. (1944). — Das Hohe Venn und seine Randgebiete. Jena

SCHWICKERATH, M. (1953). — Hohes Venn, Zitterwald, Schneifel und Hunsrück, ein vegetationsboden- und landschaftkundlichen Vergleich der vier westlichen Waldgebirge des Rheinlands und seines Westrandes. *Mitt. Flor.-soziol. Arbeitsgem.* N. F., Helft 4.

THILL, A. (1955). — Quelques données sur la statistique physique de la Forêt de Bouillon et sur sa végétation forestière. *Ardenne et Gaume.* Vol. 10, 1.

TUXEN, R. (1937). — Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. *Mitt. Flor.-soziol. Arbeitsgemeinschaft* Niedersachsen, Helft 3.

TUXEN, R. (1954). — Ueber die räumliche, durch Relief und Gestein bedingte Ordnung der natürlichen Waldgesellschaften am nördlichen Rande des Harzes. *Vegetatio.* Vol. V-VI.

VANDEN BERGHEN, C. (1953). — Contribution à l'étude des groupements végétaux notés dans la vallée de l'Ourthe en amont de Laroche en Ardenne. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* LXXXV.

VANDEN BERGHEN (1952). — Excursion du 6 août 1951 dans la région de Bihain, Samrée, Laroche. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* LXXXIV.

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par **V. LATHOUWERS**

Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.

Tome I : L'Amélioration générale — En réimpression

Tome II : L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig. — **150,00**

LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs, — br., **65,00**

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par **M. FERRAND**

Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INEAC Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris.

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes — **110,00**

ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par **G. VERPLANCKE**

Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig. — **Epuisé**

LES BOVINS

par **J. LAHAYE** et **J. MARCQ**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig. — **130,00**

Tome II : Vol. 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction. — **En réimpr.**

Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. — **En réimpr.**

TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par **F. LIEGEOIS**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI - 926 pp., 4e édition, 1955. — **560,00**

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par **R. MEURICE**

Docteur en Sciences,

Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8° ill., 280 pp. — **Epuisé**

TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par **A. DELOS**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I : La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig., — br. **50,00**

Tome II : Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp., — **Epuisé**

PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par **F. LIEGEOIS**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. in-8°, 332 pp., br. **60,00**

TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par **J. LAHAYE, J. MARCQ** et **E. CORDIEZ**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. **375,00**

LE CHEVAL

par **J. MARCQ** et **J. LAHAYE**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. — *Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I : Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig. br. **175,00**

Tome II : Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration. br. **425,00**

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par **J. GUILLAUME**

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig. br. **56,00**

ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

appliquée à la Phytotechnie

par **Em. MARCHAL**

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

P. MANIL et **R. VANDERWALLE**

Professeur à l'Instiut agronomique de l'Etat, à Gembloux. — *Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig. br. **290,00**

ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par **Em. MARCHAL**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig. br. **225,00**

TRAITE DE SYLVICULTURE

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig. br. **260,00**

A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par **A. BARBEY**

Expert forestier, Docteur ès-Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl., br. **40,00**